

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PÂMELA EMANUELLY CATTANI

ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO SEDIMENTAR
AO LONGO DA BAÍA DE PARANAGUÁ-PR

PONTAL DO PARANÁ
2009

PÂMELA EMANUELLY CATTANI

ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO SEDIMENTAR
AO LONGO DA BAÍA DE PARANAGUÁ-PR

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia com habilitação em Pesquisa Oceanográfica, ao curso de graduação em Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo R. Lamour

PONTAL DO PARANÁ
2009

*À Deus,
Aos meus pais, Sidiney e Dilair
Ao meu irmão Mauricio*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, bênção, força, sabedoria e proteção.

Ao meu Exmo. Orientador de Monografia e amigo Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour, pela orientação na vida acadêmica, em todos os sentidos. Obrigada pelos quatro anos de conversas, discussões e divagações sobre coisas e pessoas, que me fizeram ser muito do que sou hoje. Pelos conselhos e principalmente apoio em todos os momentos.

Aos meus pais, Sidiney Antônio Cattani e Dilair Tissiani Cattani, pelo apoio, carinho, amor e dedicação nestes anos todos, e principalmente por acreditarem e incentivarem os meus sonhos mais malucos. E ao meu irmão Mauricio Emanuel Cattani, por toda a cumplicidade e carinho.

Aos meus colegas de LOGEO, João, Diógenes, Mariana, Suzimara, Juliane, Tuan, Larissa, Bruna, Mirella, Rafael, Felipe e Wilson, pelo apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

Ao João Regis dos Santos Filho, por ser um tudo na minha vida, pela cumplicidade e por muitas vezes me fazer enxergar o mundo de uma forma mais colorida e tranqüila.

A Msc. Rafaela Cristine Zem, pelas conversas sobre a vida na colônia e acadêmica divididas nas faxinas do laboratório e saídas de campo. Obrigada por repassar suas experiências e me incentivar nas horas difíceis deste trabalho.

As amigas, Ana Carolina dos Passos pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis, conversas, azeitonas e loucuras. Melina Saori Ueda pelos divertidos anos em que fomos companheiras de casa. Camila Domit, pelos conselhos, feijões e risadas.

A empresa de Praticagem Paranaguá *Pilots*, pelos dados batimétricos utilizados para a realização deste trabalho.

Ao doutorando Eduardo Vedor de Paula, por me inserir no mundo do SIG e por me ensinar em meia hora o que passei três meses procurando.

Ao GRR2005, pelas comilanças, risadas e principalmente pelos barracos.

À minha família e todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para que este trabalho pudesse ser concluído.

“Eu morro e não vejo tudo”

Ditado popular

RESUMO

A complexa dinâmica sedimentar em regiões litorâneas é resultado da coexistência de diferentes ambientes deposicionais (fluviais, estuarinos e marinhos), assim como pela interação entre os processos sedimentares resultantes. A morfologia da costa, na grande maioria dos casos, é controlada pelo aporte sedimentar e a interação entre as diversas forças hidrodinâmicas. O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) apresenta características distintas ao longo do seu eixo E-W, com domínio fluvial na porção interna, marinho na porção externa e entre estes, uma zona de mistura com uma zona de máxima turbidez bem definida. O objetivo geral deste trabalho é identificar áreas críticas de preenchimento sedimentar para o eixo E-W do CEP, relacionando-as a diferentes ambientes deposicionais como subsídio ao estabelecimento de taxas de assoreamento. Para tanto, foram utilizados 38 levantamentos batimétricos, dispostos ao longo de 55 km do eixo E-W do CEP, desde a plataforma continental até a cabeceira do estuário. Tais dados fazem parte do acervo da empresa Paranaguá *Pilots* (Praticagem dos portos costeiros do Paraná), os quais foram realizados ao longo das áreas de interesse portuário (canais de acesso, bacias de evolução e áreas de perigo à navegação) em diferentes datas (entre 1999 e 2008). O conjunto de dados foi padronizado a um mesmo sistema de coordenadas (UTM) e datum horizontal (SAD69). Os arquivos batimétricos foram então agregados por data da execução da sondagem e área de recobrimento e divididos em quadro setores denominados de Plataforma continental interna, Desembocadura do estuário, Zona de Máxima Turbidez e Cabeceira do estuário. Deste ponto em diante, o Sistema de Informações Geográfico (SIG) foi utilizado para gerar modelos digitais de elevação (MDEs) e perfis batimétricos. Na porção de cabeceira de estuário observou-se assoreamento, com taxas em torno de 6 mil m³/mês, devido à progradação dos deltas fluviais na cabeceira do estuário, processo confirmado pelos perfis batimétricos na porção interna do eixo E-W do CEP. Para a porção média (zona de máxima turbidez) indica que esta área apresenta tendência ao assoreamento com sedimentos finos, com valores máximos de taxas de sedimentação de 9 mil m³/mês, porém os MDEs apresentaram pouca variação para algumas regiões, interpretando-se então que toda a área sofre assoreamento heterogêneo. Na desembocadura do estuário foram encontradas as maiores taxas, em torno de 546 mil m³/mês em uma área de 7 km² próxima a Ilha do Mel, porém para as demais porções deste ambiente as taxas foram consideradas baixas. Com os perfis batimétricos foi observado na área externa do CEP, de plataforma continental interna, um ponto crítico de assoreamento sobre o lobo terminal do delta de maré vazante com média de 19 mil m³/mês de taxa de sedimentação em ~1,5 km².

Palavras-chave: Complexo Estuarino de Paranaguá; Taxas de assoreamento; Portos; Deposição sedimentar.

ABSTRACT

The complex sediment dynamics in coastal regions is a result of the coexistence of different depositional environments (fluvial, estuarine and marine), as well the interaction between the resulting sedimentary processes. The morphology of the coast, in most cases, is controlled by sediment contribution and interaction between various hydrodynamic forcing. Complex Estuarine of Paranaguá (CEP) has distinct features along the E-W axis, with the fluvial domain in the inner portion and the marine domain in the external portion, and between them, a mixing zone with a zone of maximum turbidity defined. The aim of this study is to identify critical areas of sediment to fill the E-W axis of the CEP, relating them to different depositional environments as support the establishment of rates of siltation. However, we used 38 bathymetric surveys are available along 55 km of the EW axis of the CEP, since the continental shelf to the upper estuary. These data are part of the company's Paranaguá Pilots (Pilotage of the coastal ports of Paraná), which were conducted over the port areas (access channels, basins evolution and areas of danger to navigation) on different dates (between 1999 and 2008). The data set was standardized to the same coordinate system (UTM) and horizontal datum (SAD69). Bathymetry files were then aggregated by the date of the survey execution, area and covering table and divided into sections called the inner continental shelf, mouth estuary, Maximum Turbidity Zone and head of the estuary. From this point on, the Geographic Information System (GIS) was used to generate digital elevation models (MDEs) and bathymetric profiles. A portion of the head of estuary siltation was observed, with rates around $6 \text{ m}^3/\text{months}$, due to progradation of river deltas in the upper estuary, is confirmed by bathymetric profiles in the inner portion of the EW axis of the CEP. For the middle portion (zone of maximum turbidity) indicates that this area has tended to silt with fine sediments, with maximum sedimentation rates of $9 \text{ m}^3/\text{months}$, but the MDEs had a little variation in some regions, then interpreting the whole area suffers from siltation heterogeneous. At the mouth of the estuary were found the highest rates, around $546 \text{ m}^3/\text{months}$ in an area of 7 km^2 near do Mel island, but for the remaining portions of this environment the rates were considered low. With the bathymetric profiles were observed in the external area of the CEP, the inner shelf, a critical point of sedimentation on the terminal lobe of the ebb-tidal delta with an average of $19 \text{ m}^3/\text{months}$ of sedimentation rate at $\sim 1.5 \text{ km}^2$.

Keywords: Complex Estuarine of Paranaguá, siltation rates; Ports; sediment deposition

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO E BATIMÉTRICO DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ-PR, COM AS VIAS DE ACESSO TERRESTRE E AS PRINCIPAIS TOPONÍMIAS	17
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE DIÂMETRO MÉDIO NO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ (LAMOUR <i>et al.</i> 2004)	25
FIGURA 3 - HIPSOMETRIA E DELIMITAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS QUE DRENAM AS BAÍAS DE ANTONINA E PARANAGUÁ (PÁULA & CUNICO, 2007)	27
FIGURA 4 - DIVISÃO DOS SETORES DO CANAL DA GALHETA ESTABELECIDOS PELA APPA, OS QUAIS ESTÃO DISPOSTOS A PARTIR DA DESEMBOCADURA DO CEP (SOARES & LAMOUR, 2008)	28
FIGURA 5 - REGIÕES FUNCIONAIS DE UM ESTUÁRIO HIPOTÉTICO. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS E PROCESSOS NA ZONA DE MARÉ DO RIO (ZR), ZONA DE MISTURA (ZM) E ZONA COSTEIRA (ZC) (MODIFICADO DE MIRANDA <i>et al.</i> , 2002)	32
FIGURA 6 - MODELO CONCEITUAL DOS ESTÁGIOS DE DISPERSÃO DOS SEDIMENTOS DESDE AS CABECEIRAS DOS RIOS ATÉ A DEPOSIÇÃO DE LONGO PRAZO (WRIGTH, 1995)	35
FIGURA 7 - FLUXOGRAMA ILUSTRANDO OS ELEMENTOS IDEALIZADOS E AS SUAS RELAÇÕES EM UM SISTEMA MORFODINÂMICO COSTEIRO (WRIGTH, 1995)	37
FIGURA 8 - MODELO MORFOLÓGICO DE DELTA DE MARÉ VAZANTE EM COSTAS COM AMPLITUDE DE MARÉ MÁXIMA DE 4 m, SOB INFLUÊNCIA DE ONDAS E CORRENTES DE DERIVA LONGITUDINAL E DE MARÉ (HAYES, 1980)	38
FIGURA 9 - MODELO MORFOLÓGICO DE DELTA DE MARÉ ENCHENTE SEGUNDO HAYES (1980)	39
FIGURA 10 - DELTAS DE MARÉ NA DESEMBOCADURA SUL DO CEP. (1) BARRAS DE ESPRAIAMENTO; (2) BARRA LINEAR DE MARGEM DE CANAL; (3) LOBO TERMINAL; (4) CANAL PRINCIPAL DE VAZANTE; E (5) CANAL MARGINAL DE ENCHENTE; (6) RAMPA DE ENCHENTE; (7) ESPORÃO DE VAZANTE; (8) DIREÇÃO PREFERENCIAL INFERIDA, DE MIGRAÇÃO DE FORMAS DE FUNDO; E (9) DIREÇÃO INFERIDA DE DERIVA LITORÂNEA (ÂNGULO, 1999)	40
FIGURA 11 - MODELO CONCEITUAL DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM PERÍODOS DE MARÉ ENCHENTE E VAZANTE NA DESEMBOCADURA SUL DO CEP (LAMOUR, 2000)	41
FIGURA 12 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO ECOBATÍMETRO. (MODIFICADO DE MINGUENS, 1996)	43
FIGURA 13 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO E DATAS DE REALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS AO LONGO DO CEP, COM A DIVISÃO DOS DADOS EMBASADOS NOS AMBIENTES DISTINTOS DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO, ZONA DE MÁXIMA TURBIDEZ, DESEMBOCADURA DO ESTUÁRIO E PLATAFORMA INTERNA RASA.	45
FIGURA 14 - ARQUITETURA DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG). (CÂMARA, 1997)	46
FIGURA 15 - DESENHO ESQUEMÁTICO DA GERAÇÃO DE UM TIN, COM ARCOS E NÓS PARA FORMAR O TRIÂNGULO.	47
FIGURA 16 - INTERPOLAÇÃO TRIANGULAR DE PONTOS. A) TRIÂNGULAÇÃO DE DELAUNAY B) OUTRO TIPO DE TRIANGULAÇÃO. (MODIFICADO DE FELGUEIRAS & CÂMARA, 2001)	48
FIGURA 17 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO CÁLCULO DE VOLUME, PARA OS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS	49

FIGURA 18: MAPA DE LOCALIZAÇÃO E DIVISÃO DO CEP, SEGUNDO OS PARÂMETROS IDENTIFICADOS POR NOERNBERG (2001), LESSA *et al.* (1998) E LAMOUR *et al.* (2004). 50

FIGURA 19: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO SETOR ALFA COM OS SEUS RESPECTIVOS PERFIS BATIMÉTRICOS, DESTACANDO COM DIFERENTES CORES AS ÁREAS ONDE FORAM QUANTIFICADOS OS VOLUMES DE ASSOREAMENTO OU EROSÃO 52

FIGURA 20: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE ABRIL DE 2004, PARA A ÁREA ALFA, INSERIDA AO SETOR DE PLATAFORMA INTERNA. COM FORMA RETILÍNEA EM TODA A SUA EXTENSÃO E PROFUNDIDADES MÉDIAS DE 15 M. 53

FIGURA 21: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA REALIZADA EM FEVEREIRO DE 2006, PARA A ÁREA ALFA, INSERIDA NO SETOR DE PLATAFORMA INTERNA. ÁREAS PROFUNDAS NAS PORÇÕES NW E SE COM MÉDIA DE 14 M A 16 M DE PROFUNDIDADE. 53

FIGURA 22: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE ABRIL DE 2007, PARA A ÁREA ALFA, INSERIDA NO SETOR DE PLATAFORMA INTERNA. COM PROFUNDIDADES MÉDIAS DE 14 M. 53

FIGURA 23: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE NOVEMBRO DE 2007, PARA A ÁREA ALFA, INSERIDA NO SETOR DE PLATAFORMA INTERNA. COM AVANÇO DAS ÁREAS RASAS DA MARGEM SW EM DIREÇÃO A NE E FORTE TENDÊNCIA A CURVATURA NA PORÇÃO CENTRAL. 54

FIGURA 24: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE AGOSTO DE 2008, PARA A ÁREA ALFA, INSERIDA NO SETOR DE PLATAFORMA INTERNA. COM PROFUNDIDADES MÁXIMAS DE 15 M NA PORÇÃO SE E TENDÊNCIA A CURVATURA COM O AVANÇO DA MARGEM SW NA DIREÇÃO DO QUADRANTE NE, PRINCIPALMENTE NA ÁREA CENTRAL DO LEVANTAMENTO. 54

FIGURA 25: REPRESENTAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS (A) PERFIL 3; (B) PERFIL 4; (C) PERFIL 5; E (D) PERFIL 6, PARA OS CINCO LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS LOCALIZADOS NA ÁREA ALFA, PLATAFORMA INTERNA. 56

FIGURA 26: MAPA BATIMÉTRICO E DE LOCALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS CORRESPONDENTES AO SETOR DE DESEMBOLCADA DO ESTUÁRIO. 59

FIGURA 27: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE FEVEREIRO DE 2001, PARA A ÁREA BRAVO A, INSERIDA NO SETOR DE DESEMBOLCADA DO ESTUÁRIO. EM AZUL PERFIL BATIMÉTRICO REALIZADO SOBRE AS RUGOSIDADES DA BATIMETRIA. 60

FIGURA 28: PERFIL BATIMÉTRICO MOSTRANDO AS DIMENSÕES DAS FORMAS DE FUNDO OBSERVADAS NA ÁREA BRAVO A PARA O ANO DE 2001. 60

FIGURA 29: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE FEVEREIRO DE 2001, PARA A ÁREA BRAVO B, INSERIDA NO SETOR DE DESEMBOLCADA DO ESTUÁRIO. 61

FIGURA 30: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE MAIO DE 2007, PARA A ÁREA BRAVO C, NO SETOR DESEMBOLCADA DO ESTUÁRIO. EM VERMELHO PERFIL BATIMÉTRICO SOBRE A RUGOSIDADE NA BATIMETRIA. 61

FIGURA 31: PERFIL BATIMÉTRICO MOSTRANDO AS DIMENSÕES DAS FORMAS DE FUNDO OBSERVADAS NA ÁREA BRAVO C PARA O ANO DE 2007 62

FIGURA 32: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA REALIZADA EM NOVEMBRO DE 2003, PARA A ÁREA BRAVO D, ENTRE A ILHA DAS COBRAS E A ILHA DO MEL, NO ENCONTRO ENTRE OS DOIS EIXOS DO CEP 62

FIGURA 33: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA REALIZADA EM NOVEMBRO DE 2008, PARA A ÁREA BRAVO D, ENTRE A ILHA DAS COBRAS E A ILHA DO MEL, NO ENCONTRO ENTRE OS DOIS EIXOS DO CEP. 63

FIGURA 34: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE DEZEMBRO DE 2004 PARA A ÁREA BRAVO F, LOCALIZADA PRÓXIMA A ILHA RASA DA COTINGA. 64

FIGURA 35: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE DEZEMBRO DE 2004 PARA A ÁREA BRAVO F, LOCALIZADA PRÓXIMA A ILHA RASA DA COTINGA 64

FIGURA 36: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS E PERFIS BATIMÉTRICOS INSERIDOS NO SETOR DE ZONA DE MÁXIMA TURBIDEZ DO CEP, CORRESPONDENTE AOS SETORES DO CANAL CHARLIE E DELTA. 66

FIGURA 37: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE OUTUBRO DE 2008, PARA A ÁREA CHARLIE A, INSERIDA NO SETOR ESTUARINO COM INFLUÊNCIA DA ZMT. 67

FIGURA 38: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE ABRIL DE 2008, PARA A ÁREA CHARLIE B, INSERIDA NO SETOR ESTUARINO COM INFLUÊNCIA DA ZMT. 67

FIGURA 39: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE OUTUBRO DE 2006, PARA A ÁREA CHARLIE C LOCALIZADA NO CAIS W DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 68

FIGURA 40: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE ABRIL DE 2008, PARA A ÁREA CHARLIE C LOCALIZADA NO CAIS W DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 68

FIGURA 41: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DO ANO DE 1999, PARA A ÁREA CHARLIE D LOCALIZADA SOBRE AS ROCHAS DA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR ESTUARINO ZMT. 69

FIGURA 42: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE SETEMBRO DE 2003, PARA A ÁREA CHARLIE E LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 70

FIGURA 43: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE OUTUBRO DE 2005, PARA A ÁREA CHARLIE E LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 70

FIGURA 44: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE JULHO DE 2007, PARA A ÁREA CHARLIE E LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 71

FIGURA 45: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2004, PARA A ÁREA CHARLIE F LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 72

FIGURA 46: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A MAIO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA A LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 72

FIGURA 47: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A FEVEREIRO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA A LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 72

FIGURA 48: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA B, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 73

FIGURA 49: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA B, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 73

FIGURA 50: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA C, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 74

FIGURA 51: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA D, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 74

FIGURA 52: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA D, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 75

FIGURA 53: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA E, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 75

FIGURA 54: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA E, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT. 76

FIGURA 55: REPRESENTAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS (A) PERFIL 1; (B) PERFIL 3; (C) PERFIL 3; (D) PERFIL 4; (E) PERFIL 5; E (F) PERFIL 6, PARA OS TRÊS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS (— MAI/03 - - JUN/04 FEV/06) LOCALIZADOS NA ÁREA DELTA, INSERIDA NO AMBIENTE ESTUARINO SOBRE INFLUÊNCIA DA ZMT. 78

FIGURA 56: MAPA BATIMÉTRICO E DE LOCALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS INSERIDOS NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A NW. 81

FIGURA 57: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA F, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A NW. 81

FIGURA 58: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA G, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A NW 82

FIGURA 59: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA G, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A NW. 82

FIGURA 60: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA H, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A SW. 83

FIGURA 61: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA H, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A SW. 83

FIGURA 62: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA I, LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO TERMINAL PORTUÁRIO PONTA DO FÉLIX, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A SW E DO RIO CACHOEIRA A N-NW. 84

FIGURA 63: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA I, LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO TERMINAL PORTUÁRIO PONTA DO FÉLIX, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A SW E DO RIO CACHOEIRA A N-NW. 84

FIGURA 64: REPRESENTAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS (A) PERFIL 14; (B) PERFIL 15; (C) PERFIL 16; (D) PERFIL 17; (E) PERFIL 18; E (F) PERFIL 19, PARA OS DOIS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS (— JUN/03 — FEV/06) LOCALIZADOS NA ÁREA DELTA. 86

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: VALORES DE ALTURA, PERÍODO E DIREÇÃO DE ONDAS ENTRE AGOSTO E DEZEMBRO DE 1983.	20
TABELA 2: DADOS DE VELOCIDADE E DIREÇÃO DE CORRENTES DE MARÉ, EM DOIS PERÍODOS SAZONAIS DISTINTOS: CHUVOSO E SECO, EM MARÉS DE QUADRATURA E SIZÍGIA, PARA OS ANOS DE 2005 E 2006 NO EIXO E-W DO CEP.	22
TABELA 3: DESCRIÇÃO DOS SETORES DO CANAL DA GALHETA SEGUNDO SOARES & LAMOUR (2008), QUANTO A SUA EXTENSÃO, LARGURA, PROFUNDIDADE MÉDIA E LOCALIZAÇÃO NO CEP.	28
TABELA 4: PARÂMETROS UTILIZADOS PARA A DIVISÃO DOS SETORES DO CEP EM (A) CABECEIRA DO ESTUÁRIO; (B) ZONA DE MÁXIMA TURBIDEZ; (C) DESEMBOLADURA DO ESTUÁRIO; (D) PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA.	51
TABELA 5: ÁREA 2D E VOLUME DA PORÇÃO DA PLATAFORMA INTERNA DO CEP SOBRE O DELTA DE MARÉ VAZANTE, PARA OS CINCO LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.	57
TABELA 6: VOLUME DOS TRÊS SETORES (ALFA A, ALFA B E ALFA C) NA PORÇÃO EXTERNA DA DESEMBOLADURA SUL DO CEP SOBRE O DELTA DE MARÉ VAZANTE, PARA OS CINCO LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.	58
TABELA 7: TAXAS DE ASSOREAMENTO PARA OS DOS TRÊS SETORES (ALFA A, ALFA B E ALFA C) NA PORÇÃO DA PLATAFORMA INTERNA DO CEP SOBRE O DELTA DE MARÉ VAZANTE, PARA OS CINCO LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.	58
TABELA 8: ÁREA 2D, ÁREA 3D E VOLUME DAS ÁREA BRAVO A, B, C, D, E E F, PARA SEUS RESPECTIVOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.	65
TABELA 9: TAXAS DE ASSOREAMENTO PARA OS DOS SEIS SETORES (BRAVO A, B, C, D, E E F) NA ÁREA BRAVO PARA OS RESPECTIVOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.	65
TABELA 10: ÁREA 2D, ÁREA 3D E VOLUME DAS ÁREA CHARLIE A, B, C, D, E E F E DELTA A, B, C, D E E, PARA SEUS RESPECTIVOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS, INSERIDO NA ZONA DE MÁXIMA TURBIDEZ DO CEP.	79
TABELA 11: TAXAS DE ASSOREAMENTO PARA OS DOS 11 SETORES (CHARLIE A, B, C, D, E, F E DELTA A, B, C, D E E) NA ÁREA DENOMINADA DE ZMT DO EIXO E-W DO CEP, PARA OS RESPECTIVOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.	80
TABELA 12: ÁREA 2D, ÁREA 3D E VOLUME DAS ÁREA DELTA F, G, H E I, INSERIDAS NO AMBIENTE DE CABECEIRA DE ESTUÁRIO, COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIA, PARA SEUS RESPECTIVOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.	87
TABELA 13: TAXAS DE ASSOREAMENTO PARA OS DOS QUATRO SETORES (DELTA F, G, H E I) NA ÁREA DELTA PARA OS RESPECTIVOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.	88

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
EPÍGRAFE.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. OBJETIVO GERAL.....	18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	19
3.2. PARÂMETROS FÍSICOS.....	20
3.3. SEDIMENTOS DE FUNDO.....	23
3.4. DINÂMICA HÍDRICA, DRENAGEM E APORTE SEDIMENTAR CONTINENTAL.....	25
3.5. CANAIS DE ACESSO.....	27
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	29
4.1. ESTUÁRIOS.....	29
4.2. PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA.....	34
4.3. DELTAS DE MARÉ.....	37
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
5.1. DADOS BATIMÉTRICOS.....	42
5.1.1. Método de obtenção de dados utilizado pela empresa Paranaguá <i>Pilots</i>	42
5.1.2. Conjunto de dados.....	43
5.2. ORGANIZAÇÃO, PADRONIZAÇÃO E RECOBRIMENTO DOS DADOS.....	44
5.3. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	44
5.4. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE).....	46
5.4.1. Estrutura de grade Triangular (TIN).....	47
5.4.2. Perfis batimétricos.....	48
5.5. CÁLCULO DOS VOLUMES.....	48
5.5.1. Área e volume.....	48

5.5.2. Taxas de assoreamento.....	49
6. RESULTADOS.....	50
6.1. PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA.....	51
6.2. DESEMBOLADURA DO ESTUÁRIO.....	58
6.3. ZONA DE MÁXIMA TURBIDEZ.....	66
6.4. CABECEIRA DO ESTUÁRIO.....	80
7. DISCUSSÃO.....	88
8. CONCLUSÃO.....	92
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

1. INTRODUÇÃO

A evolução de um ambiente costeiro é o produto dos processos cíclicos baseados na erosão, transporte e deposição das partículas de sedimentos, os quais são submetidos a condições energéticas intensas sobre sua superfície. Porém, as modificações nas formas e características da distribuição dos sedimentos ocorrem em um curto período de tempo. (Perillo, 1995).

O ambiente estuarino funciona como ambiente deposicional permanente, e simultaneamente, como exportador de sedimentos, suprindo os sistemas adjacentes (as praias e o oceano aberto) de material sedimentar necessário para a estabilidade dos processos físicos naturais. Cada processo pode diferir em intensidade de estuário para estuário, considerando que parâmetros físicos, geológicos, climáticos e antrópicos que influenciam diretamente as variáveis que governam esses processos (Perillo, 1995).

Segundo Wright (1995), os processos dinâmicos na zona costeira, inclui o balanço de sedimentos no sistema costeiro, o qual apresenta importância tanto ambiental quanto social. Entretanto, esta dinâmica dos sedimentos pode ter alguns problemas, como alterações na morfologia devido à erosão e/ou progradação de praias e costas adjacentes, aumento na turbidez da água e assoreamento de canais de acesso aos portos.

Em particular, as regiões de desembocadura de estuários são áreas que apresentam uma dinâmica complexa e influenciada por vários fatores naturais (ondas, correntes de maré, sedimentos, batimetria e meteorologia) e intervenções antrópicas (dragagens, urbanização e obras de instalações costeiras), o que frequentemente ocasiona modificações nas formas de fundo e costas adjacentes (Lamour, 2000; Lamour & Soares, 2008). As alterações na morfologia da costa podem ser explicadas por processos de erosão e/ou deposição de sedimentos (Wright, 1995).

Geralmente os portos, complexos industriais, e conseqüentemente centros urbanos são instalados em estuários, isso ocorre por este ser um ambiente protegido da ação intensa de ondas, pela navegação costeira e pela indústria pesqueira. Entretanto, junto com esse desenvolvimento de aglomerações urbanas com centros industriais, os níveis de poluição neste ambiente se tornam elevados.

Além disso, estes poluentes podem afetar a diversidade ecológica e o uso recreativo deste ambiente costeiro (Prandle, 2009).

Neste contexto, o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP; FIGURA 1) possui importância ecológica, pois várias Unidades de Conservação foram demarcadas na região. Ademais, o CEP abriga portos públicos e privados paranaenses os quais estão subordinados a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA), operando com carga geral, granéis sólidos, granéis líquidos, congelados, contêineres e veículos (APPA, 2009).

Além disso, as atividades pesqueiras e de recreação e turismo oferecem importante fonte de sustento para inúmeras famílias a devido à localização de cidades históricas como Antonina e Morretes, e balneários como Pontal do Paraná, além da Ilha do Mel, um dos principais pontos turísticos do litoral paranaense.

A principal via de acesso navegável ao interior do estuário é o canal da Galheta, localizado na desembocadura sul, o qual corresponde a um transecto no eixo E-W do CEP abrangendo diferentes ambientes deposicionais (fluvial, estuarino e costeiro) inseridos nesta área. O canal da Galheta teve sua abertura completada em 1975, desde então possui problemas de assoreamento, pois este seccionou o maior delta de maré do litoral do Paraná identificado por Angulo (1999), assim são efetuadas dragagens de manutenção no canal periodicamente. (Lamour & Soares, 2008; Lamour, 2000; 2007).

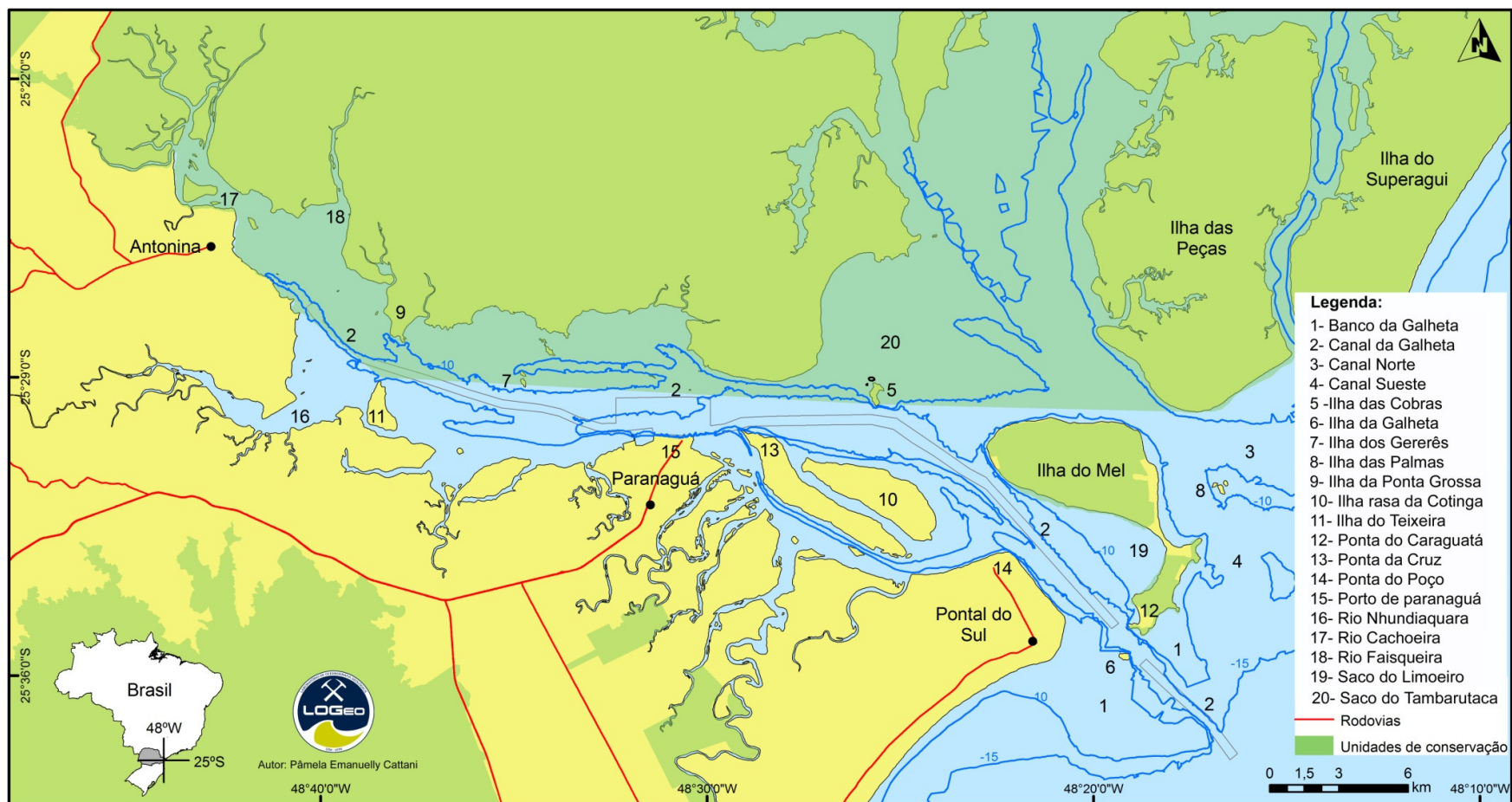


FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO E BATIMÉTRICO DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ-PR, COM AS VIAS DE ACESSO TERRESTRE E AS PRINCIPAIS TOPONÍMIAS.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estabelecer as taxas de sedimentação e/ou erosão no eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), identificado neste trabalho como as baías de Antonina e Paranaguá, abordando diferentes ambientes deposicionais, pela análise de batimetrias seqüenciais ao longo de um canal de navegação.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar taxas de assoreamento e/ou erosão ao longo de um perfil estabelecido nas baías de Antonina e Paranaguá pela comparação superfícies batimétricas seqüenciais.
- Identificar possíveis diferenças nas taxas de deposição de sedimentos e sua relação com os diferentes ambientes deposicionais (fluvial, estuarino e costeiro) ao longo da área de estudo.

3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A costa paranaense é caracterizada por uma extensão de 105 km (Angulo & Araújo, 1996) considerada de pequeno porte para os padrões brasileiros, disposta entre os paralelos 25° e 26° S e os meridianos 48° e 49° W. Como característica marcante diversos autores (Bigarella *et al.*, 1978; Angulo, 1999; Lamour, 2000; 2007) relatam uma extensa planície costeira limitada à Oeste pelas montanhas que formam a Serra do Mar, e dois estuários bem desenvolvidos, denominados de Baía de Guaratuba ao Sul, e o CEP ao Norte. Segundo Lamour (2007) os estuários presentes no litoral paranaense têm suas atividades associadas à pesca e lazer, com portos instalados na margem Sul do CEP.

O CEP está localizado na região centro-norte, com uma área superficial de 601 km² e volume de 2×10^9 m³ (Knoppers *et al.*, 1987), recebe cerca de 70% da drenagem da Bacia hidrográfica Atlântica (Mantovanelli, 1999) e é caracterizado como um estuário de planície costeira (Angulo, 1992; Lessa *et al.*, 2000). Sendo formado por dois eixos principais denominados de Baía de Paranaguá (E-W) e Baía das Laranjeiras (N-S).

O sistema de baías Antonina-Paranaguá (eixo E-W), tem área de 258,4 km², volume de $1,4 \times 10^9$ m³, e extensão longitudinal de 50 km, a circulação das águas nas duas baías é regida pelas correntes de marés com influência sazonal do aporte fluvial (Knoppers *et al.*, 1987), com uma descarga de água doce de aproximadamente de 178 m³ s⁻¹ no verão (período chuvoso) e de 47 m³ s⁻¹ no inverno (período seco) (Mantovanelli, 1999). Ainda assim, é estimado que o aporte médio de água doce para o estuário esteja próximo a 200 m³ s⁻¹ e o tempo necessário para troca completa da água do sistema estuarino seja de cerca de 3,5 dias (Lana *et al.*, 2001).

Ademais, o CEP possui duas desembocaduras, denominadas Norte e Sul de acordo com a sua posição em relação à Ilha do Mel. A desembocadura Norte apresenta dois canais navegáveis: Norte, localizado entre a Ilha das Palmas e a Ilha do Superagüi, e o Sueste, localizado entre a Ilha das Palmas e a Ilha do Mel. A desembocadura Sul apresenta um único canal, denominado canal da Galheta, que

se estende entre a Ilha do Mel e o balneário Pontal do Sul, e é a principal via de acesso ao porto de Paranaguá (Lamour, 2007).

3.2. PÂRAMETROS FÍSICOS

A existência de dados a respeito de ondas na zona costeira do Paraná é muito escassa. O regime de ondas no litoral do Paraná foi estabelecido com base nos dados de dois levantamentos distintos. O primeiro referente a campanhas realizadas entre Agosto e Dezembro de 1982 (Portobrás, 1983; *apud* Angulo, 1999; Lamour, 2000, 2007; Lamour & Soares, 2008), quando foi instalado um ondógrafo a aproximadamente 13 km ao Leste do Balneário Praia de Leste, e 2,6 km a nordeste da Ilha de Currais. Esse levantamento de dados identificou dois trens preferenciais de ondas, provenientes das direções N74° e N174° (ENE e SSE/SE, respectivamente), e que as ondas mais altas vêm do quadrante de SE.

Os azimutes de frentes de ondas observados no período (TABELA 1) têm origem em dois sistemas distintos de geração de ondas: a direção de ENE está relacionada ao anticiclone tropical do Atlântico Sul (centro de alta pressão), com ondas regulares e de tamanho intermediário, já a direção SSE/SE associada à passagem de sistemas meteorológicos e formam “ondas de tempestades” (Portobrás 1983, *apud* Lamour, 2000; 2007; Lamour & Soares, 2008; Veiga, 2006).

TABELA 1: VALORES DE ALTURA, PERÍODO E DIREÇÃO DE ONDAS ENTRE AGOSTO E DEZEMBRO DE 1983.

PARÂMETROS	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Altura máxima (m)	2,3	3,9	3,2	2,6	3,5
Altura significativa (m)	1,6	2,5	2,0	1,5	2,1
Período médio (s)	16,5	10,7	12,0	9,8	12,0
Direção	-	112°	133°	140°	123°

FONTE: Portobrás (1983) *apud* Angulo, 2004; Lamour, 2000, 2007.

O segundo levantamento foi realizado no período de verão por Marone *et al.* (1997), onde as ondas que adentram no estuário pela Ilha da Galheta e o Balneário Pontal do Sul apresentam alturas menores que 0,5 m e períodos de 7 s. As ondas menores têm altura de 0,25 m e períodos de 12 s, com direção principal de frente de ondas do quadrante SE.

A caracterização do clima de ondas e do seu comportamento na zona costeira pode auxiliar na compreensão de processos costeiros relacionados ao

transporte de sedimentos dependente da ação das ondas, como as variações na linha de costa e da dinâmica de bancos de areia e barras submersas (Noernberg, 2001). O banco da Galheta funciona como um quebra-mar, devido à profundidade baixa na região, esgotando a energia das ondas, protegendo o setor interno do canal da Galheta. O atrito com o fundo é intenso que chega a criar períodos que as ondas não entram no estuário (Marone *et al.*, 1997; Lamour, 2000; 2007; Lamour & Soares, 2008). O aumento do nível da água durante as marés meteorológicas permite que as ondas de *swell* ultrapassem o banco da Galheta e se propaguem estuário adentro (Marone *et al.*, 1997).

Noernberg (2001) observou, baseado em imagens do satélite LandSat 7, correntes de retorno com características erosivas na região sul da desembocadura do CEP, próximo ao Balneário Atami. Observando o deslocamento de garrafas de deriva ao longo da costa Marone *et al.* (1995) concluíram que o deslocamento da deriva longitudinal é na direção de sul para norte. Angulo (1999), analisando fotografias aéreas de 1980, identificou na desembocadura sul feições migrando na direção NW para o interior do estuário, mostrando a via preferencial da corrente longitudinal nesta direção.

Marone *et al.* (1997) classificaram o CEP como um estuário parcialmente misturado do tipo B, com heterogeneidades laterais. Sendo que em estuários deste tipo, normalmente rasos, a salinidade aumenta de montante para jusante em todas as profundidades. A maré apresenta regime semi-diurno, onde ocorrem duas preamares e duas baixa-mares em um dia lunar (24hs 50min) com desigualdades diurnas.

O eixo E-W do CEP apresenta-se como um estuário hipsíncrono, onde o efeito de convergência excede o de atrito, resultando numa amplificação na variação da maré em direção à cabeceira (Antonina; Mantovanelli, 1999). Esta amplificação da maré é controlada, basicamente, por ressonância, que depende da frequência de oscilação da onda de maré e do comprimento do estuário (Camargo & Harari, 1994).

A variação média da altura da maré é de 1,74 m na sizígia e 1,30 m na quadratura na região da desembocadura (Ilha da Galheta); de 2,09 m na sizígia e 1,70 m na quadratura na porção mediana do estuário (na região da cidade de Paranaguá); e de 2,7 m na sizígia e 2,0 m na quadratura na porção inferior do estuário, próximo à cidade de Antonina. A onda de maré percorre a distância entre a Ilha da Galheta e Antonina em 2,2 a 2,52 horas durante a quadratura e entre 1,67 a

1,83 horas durante a sizígia (Marone & Jamiyanaa, 1997). Noernberg (2001), também identificou que as correntes de maré seguem a orientação do canal navegável, mas com desvio das correntes de vazante para E.

As velocidades das correntes de maré de superfície foram medidas por Marone *et al.* (1997), com velocidades máximas das correntes, na porção externa da desembocadura sul do CEP, de $0,32 \text{ m s}^{-1}$ na enchente e $0,87 \text{ m s}^{-1}$ na vazante. Na porção interna da desembocadura possui valores de $0,59 \text{ m s}^{-1}$ na maré enchente, e na maré vazante com valores de $0,97 \text{ m s}^{-1}$. Estudos realizados por Araújo *et al.* (1999) no Saco do Limoeiro revelaram que as correntes de maré mais intensas ocorrem na maré vazante, com média de $0,31 \text{ m s}^{-1}$ e nos períodos de maré enchente a média foi de $0,26 \text{ m s}^{-1}$.

Zem (2008) realizou medições de velocidade e direção de correntes de maré de fundo no eixo E-W do CEP, em um ponto fixo, próximo a Ilha dos Gererês. As medições foram efetuadas em dois períodos sazonais distintos: um no período chuvoso (verão austral) e outro no período seco (inverno austral), em marés de quadratura e sizígia, para os anos de 2005 e 2006 (TABELA 2).

TABELA 2: DADOS DE VELOCIDADE E DIREÇÃO DE CORRENTES DE MARÉ, EM DOIS PERÍODOS SAZONAIS DISTINTOS: CHUVOSO E SECO, EM MARÉS DE QUADRATURA E SIZÍGIA, PARA OS ANOS DE 2005 E 2006 NO EIXO E-W DO CEP.

Amostragem	Maré	Corrente de maré	Direção	Velocidade (ms^{-1})
Período chuvoso (Primavera/verão) 2005	Quadratura	Vazante	ENE e E	0,31 a 0,4
		Enchente	WNW e W	
	Sizígia	Vazante	ENE	0,21 a 0,3
		Enchente	WNW e NW	
Período seco (inverno) 2006	Quadratura	Vazante	SE	0,11 a 0,2 e 0 a 0,1
		Enchente	W e WSW	
	Sizígia	Vazante	ESE	0,11 a 0,2
		Enchente	WNW	

Veiga *et al.* (2003) realizaram medidas das velocidades de correntes, na plataforma rasa paranaense, com um *Acoustic Doppler Profiler* (ADP), e constataram que as velocidades máximas não ultrapassaram $0,30 \text{ m s}^{-1}$, sugerindo que existe pouco transporte e ressuspensão de sedimentos. Observaram que próximo a desembocadura do CEP a vazão preferencial é para sul. Na área próxima ao Balneário Praia de Leste a vazão teve sentido pra norte, segundo os autores o que pode ser explicada pela coleta ter sido realizada num período de estofa da vazante.

As mudanças nas condições meteorológicas observadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil estão geralmente associadas à passagem, formação ou intensificação de frentes frias, sistemas meteorológicos típicos de latitudes médias e atuantes no litoral brasileiro em todas as épocas do ano (Rodrigues *et al.*, 2004). Associados aos distúrbios de grande-escala, os sistemas frontais deslocam-se acompanhados de ciclones e anticiclones móveis, alterando os campos de pressão atmosférica, de vento, agitação marítima e de outras variáveis atmosféricas, ao longo da sua trajetória (Wallace & Hobbs, 1977). Na plataforma sul-sudeste do Brasil, esses distúrbios atmosféricos podem provocar sobre-elevações do nível do mar (Camargo & Harari, 1994). A passagem destes sistemas frontais, quase sempre está associada a processos erosivos no ambiente costeiro e comumente são chamados de “ressaca” segundo Quadros *et al.* (2002). Os ventos também apresentam um importante papel na geração de marés meteorológicas durante a passagem das frentes frias, quando podem causar uma elevação no nível da água dentro do CEP de até 0,80 m (Camargo & Harari, 1994).

3.3. SEDIMENTOS DE FUNDO

Bigarella *et al.* (1978), analisaram e descreveram sedimento de fundo das baías de Paranaguá e Antonina, e relataram que as correntes de maré transportam e depositam os sedimentos na Baía de Paranaguá, e quanto mais ao interior do estuário, os sedimentos ficam mais finos e menos selecionados. A composição do material de fundo foi dividida em três categorias fundamentais, na primeira encontra-se um material procedente do retrabalhamento direto da planície costeira, constituído em excelência por areia fina. A segunda categoria engloba o material de origem fluvial, composto por cascalho, areia, silte e argila. E na última categoria está o material biogênico proveniente do interior do sistema estuarino como as frações de matéria orgânica e carbonato biodentrítico. As médias granulométricas analisadas por estes autores revelaram a jusante de Paranaguá, a classe modal predominante foi areia fina a muito fina e bem selecionada, e o grau de seleção e o diâmetro médio tendem a diminuir para o interior do estuário. As frações mais grossas ocorrem associadas aos canais de maré, enquanto o material mais fino estava depositado nos ambientes de menor energia. Esta disposição revelou que a distribuição dos

sedimentos de fundo no estuário de Paranaguá é controlada pelo ambiente físico, principalmente pelas profundidades e pelas correntes de maré.

Em um novo levantamento de sedimentos de fundo no eixo E-W do CEP Soares *et al.* (1996) avaliaram e compartimentaram essa amostragem em três setores. a) uma porção superior, a montante do estuário (Baía de Antonina) com grande influência fluvial, compostas por sedimentos heterogêneos, ocorrendo uma mistura de sedimentos arenosos e siltosos, com baixo grau de seleção, sendo que a porcentagem de finos é maior que as demais porções do estuário. b) uma porção intermediária com influencia fluvial e marinha, onde também se delimita a Zona de Máxima Turbidez (ZMT). Nesta zona ocorre mistura de frações granulométricas, porém com menor influencia de finos. c) uma porção inferior composta por areia fina a muito fina, moderadamente a bem selecionada delimitada pelas áreas de influência da desembocadura, onde ocorre a ação marinha.

Segundo Lamour *et al.* (2004), os sedimentos de fundo do eixo E-W do CEP são compostos por siltes finos a areias finas, sendo pobremente selecionados (FIGURA 2). Na área onde ocorre a ação marinha, na desembocadura do estuário, os sedimentos variam de areias finas a médias e moderadamente a bem selecionados. Os siltes grossos e médios, e siltes finos ocorrem na região do Porto de Paranaguá, na porção próxima as Ilhas Gererês. Já na Baía de Antonina, os siltes ocorrem principalmente próximos às margens, exceto nas desembocaduras dos rios, onde as areias predominam. No eixo central da Baía de Antonina dominam os sedimentos arenosos, observando-se progressivo aumento da granulometria em direção à cabeceira, com a ocorrência de areias muito finas e finas, até areias médias e grossas, devido à erosão da Serra do Mar.

Odreski (2002) comparou dois levantamentos efetuados na Baía de Antonina por Bigarella *et al.* (1978) e Soares *et al.* (1996) e constatou que os sedimentos de fundo tiveram aumento do diâmetro médio sugerindo que isso se deve ao desmatamento da Serra do Mar e/ou da transposição da bacia de drenagem do rio Capivari para o rio Faisqueira. Veiga (2006) confeccionou um mapa dos sedimentos de fundo da plataforma rasa paranaense. Este autor observou a existência de uma maior quantidade de areia fina, com algumas manchas de areia média e grossa, a partir dos 10 m de profundidade.

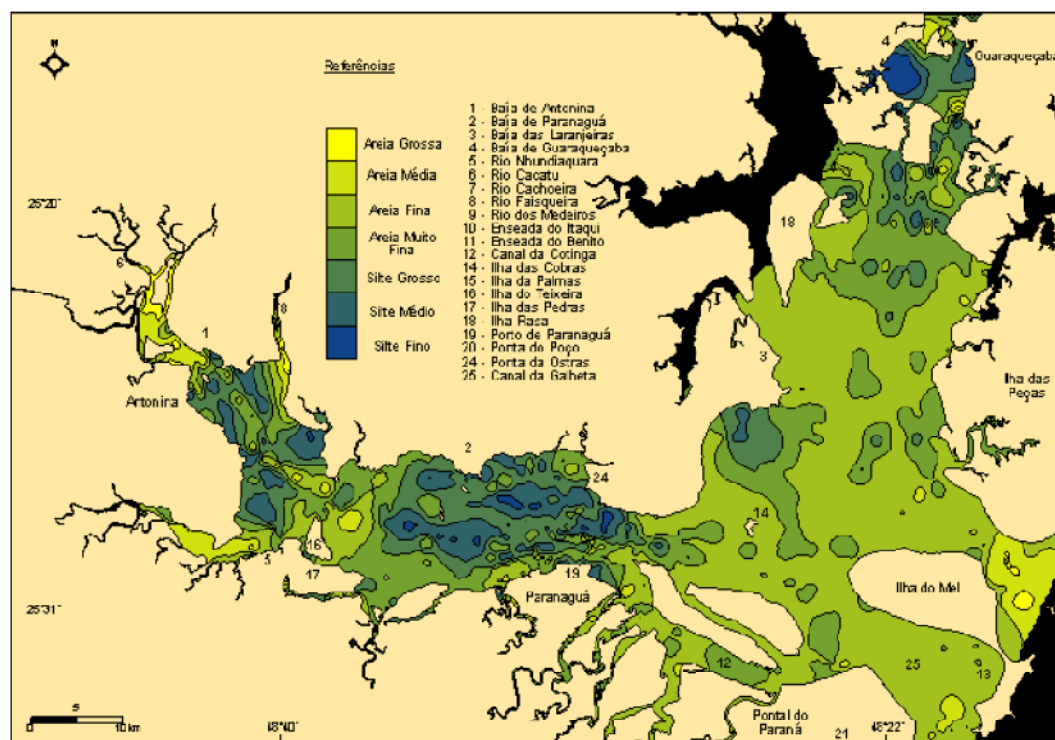


FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE DIÂMETRO MÉDIO NO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ (LAMOUR ET AL., 2004).

3.4. DINÂMICA HÍDRICA, DRENAGEM E APORTE SEDIMENTAR CONTINENTAL

A declividade a serra do mar é acentuada, geralmente maior que 45° , fazendo com que os cursos d'água comportem-se como verdadeiras torrentes, tornando elevado o potencial erosivo e o transporte de material para o interior do estuário (Soares, 1990). Levantamentos efetuados por Mantovanelli (1999) nos anos de 1997 e 1998 evidenciaram que a descarga de Material Particulado em Suspensão (MPS) foi de 355 e 88 ton dia^{-1} no verão e inverno respectivamente. O rio cachoeira que apresentou uma vazão anual de $31,45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ foi caracterizado como o maior fornecedor de água doce e MPS para o eixo E-W do CEP.

Zem (2008) em estudos com MPS na ZMT da Baía de Paranaguá, em um ponto amostral próximo a Ilha dos Gererês, observou que a concentração do MPS tendeu a aumentar com a intensificação das correntes de maré e diminuir com o declínio das velocidades. Os levantamentos foram realizados em dois períodos sazonais distintos: verão chuvoso e inverno seco, nos anos de 2005 e 2006, e evidenciaram para o período chuvoso uma concentração média de MPS de 21 mgL^{-1} .

(maré vazante) e 69 mgL^{-1} (maré enchente); no período seco a concentração média de MPS foi de 15 mgL^{-1} (maré vazante) e 33 mgL^{-1} (maré enchente) em quadratura e 444 mgL^{-1} (maré enchente) em sizígia.

As bacias hidrográficas que drenam para as baías de Antonina e Paranaguá têm uma área de $2.078,86 \text{ km}^2$ (Paula & Cunico, 2007). Segundo Bigarella *et al.* (1978), o maior índice pluviométrico do estado gira em torno de 1.500 e 2.000 mm por ano, e esta localizado na área de drenagem do estuário, com uma malha densa de rios, sendo que as nascentes se localizam em uma zona de declive, enquanto que o baixo curso corre na planície costeira, com um padrão de drenagem que pode ser caracterizado como dendrítico. Paula & Cunico (2007) estudando as bacias de drenagem do eixo E-W do CEP observaram que os totais anuais pluviométricos na vertente Leste da Serra do Mar, estão entre os valores mais expressivos do país, já que supera o total acumulado anual de 3.500 mm, verificada na estação do Véu da Noiva, situada a 680 m de altitude. Porém, nesta área o ponto mais alto atinge os 1.871 m, o que provavelmente indica a existência de localidades cujos totais pluviométricos sejam ainda maiores.

Segundo Paula & Cunico (2007), as principais bacias hidrográficas do eixo E-W do CEP (Nhundiaquara, Cachoeira e Guaraguaçu) drenam 58,1% da área total (FIGURA 3). A bacia do Rio Nhundiaquara é maior, com cerca de $519,3 \text{ km}^2$, representando 24,98% da área total de drenagem. A bacia do Rio Cachoeira é a segunda maior em área de drenagem, descarregando suas águas na cabeceira da Baía de Antonina. Esta bacia ocupa 20,6% do território, drenando uma área total de $428,18 \text{ km}^2$. A bacia do Rio Guaraguaçu, a terceira em área, drena $259,92 \text{ km}^2$ (12,5%) e deságua a montante da cidade de Paranaguá.

Noernberg (2001) observou que o setor E-W do CEP sofre maior influência do aporte de água doce de sua bacia de drenagem em relação ao eixo N-S, apresentando uma resposta mais rápida e intensa aos processos relacionados a estratificação da coluna d'água, intrusão salina, aporte de sedimentos fluviais e formação da Zona de Máxima Turbidez (ZMT). Este autor também delimitou a presença da ZMT no setor E-W do CEP, ocorrendo numa faixa entre as ilhas dos Gererês e o Porto de Paranaguá, e acrescentou que esta zona esta diretamente relacionada a geometria do corpo do estuário, intensidade das correntes de maré e a estratificação da coluna d'água.

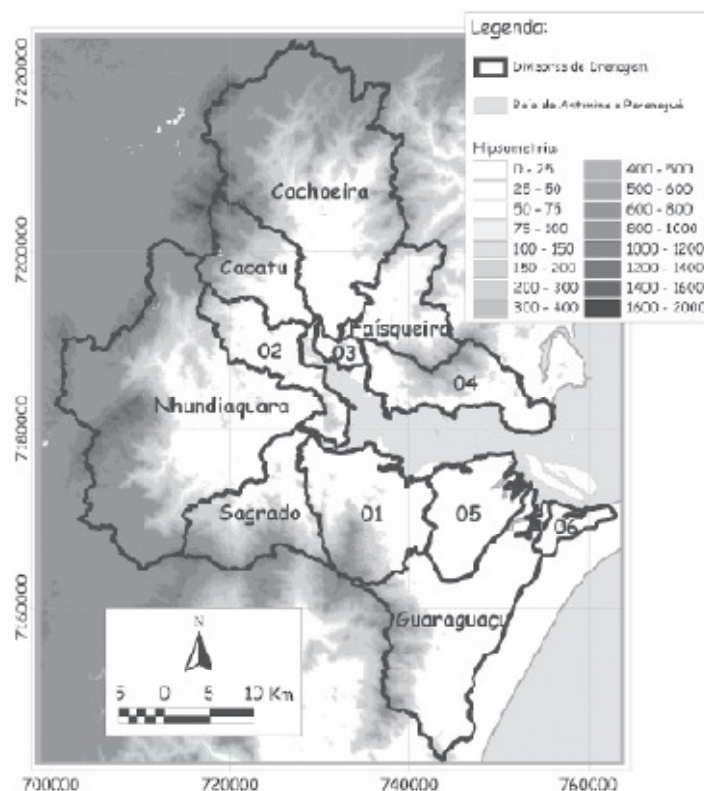


FIGURA 3: HIPOMETRIA E DELIMITAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS QUE DRENAM AS BAÍAS DE ANTONINA E PARANAGUÁ (PAULA & CUNICO, 2007).

3.5. CANAIS DE ACESSO

A Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA) e a Marinha do Brasil estabeleceram setores específicos para o canal da Galheta, através das Normas de Tráfego Marítimo e Permanência nos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA, 1999; *apud* Soares & Lamour, 2008). Esses setores foram denominados Alfa, Bravo Uno, Bravo Dois, Charlie Uno, Charlie Dois, Delta e Echo e serão descritos a seguir conforme Soares & Lamour (2008; FIGURA 4; TABELA 3).

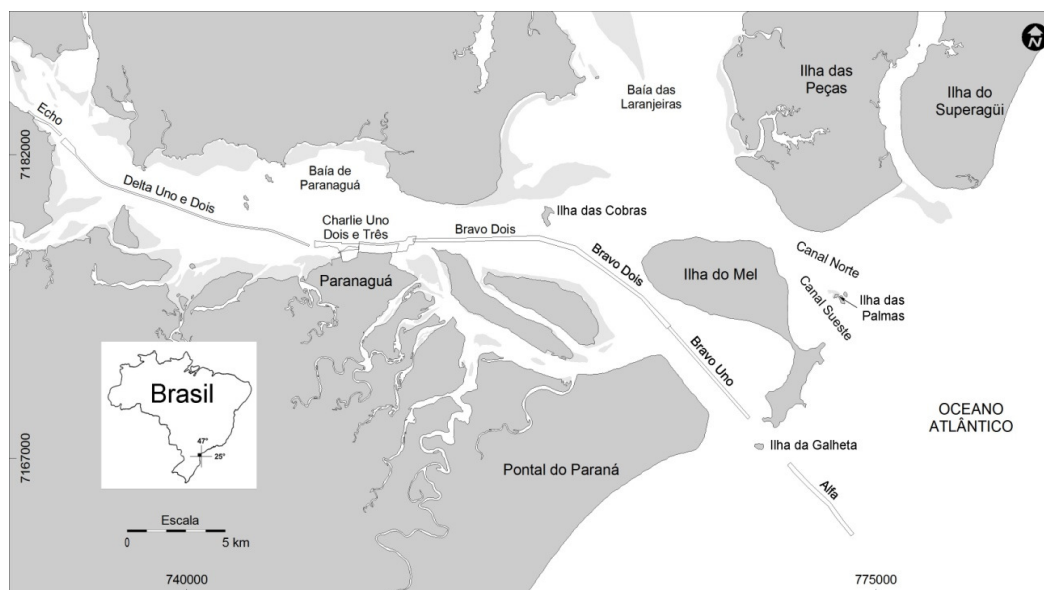


FIGURA 4: DIVISÃO DOS SETORES DO CANAL DA GALHETA ESTABELECIDOS PELA APPA, OS QUAIS ESTÃO DISPOSTOS A PARTIR DA DESEMBOLCADURA DO CEP (SOARES & LAMOUR, 2008).

TABELA 3: DESCRIÇÃO DOS SETORES DO CANAL DA GALHETA SEGUNDO SOARES & LAMOUR (2008), QUANTO A SUA EXTENSÃO, LARGURA, PROFUNDIDADE MÉDIA E LOCALIZAÇÃO NO CEP.

Setores	Extensão (km)	Largura (m)	Profundidade (m)	Localização
Alfa	6	200	13,5	Setor externo do estuário. Sobre o delta de maré vazante.
Bravo Uno	6	150-200	12,8	Setor interno o estuário. Entre o Balneário Pontal do sul e a Ilha do Mel.
Bravo Dois	14	150-200	11,5	Contorna a Ilha rasa da Cotinga até o Terminal de Contêineres de Paranaguá.
Charlie Uno, Dois e Três	5,6	1600	6,8 a 16,2	Corresponde a Cabia de evolução e Berços de atracação do Porto de Paranaguá.
Delta Uno e Dois	13,5	100	11,5	Canal de acesso a região de Antonina e Bacia de evolução do Terminal Portuário Ponta do Félix.
Echo	4	150	10	Continuação do setor Delta até o Terminal Portuário Barão de Teffé.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. ESTUÁRIOS

A geomorfologia, segundo Perillo (1995), é descrita como o estudo das formas da superfície da Terra e da sua evolução no tempo e espaço, isto é devido à ação de fatores físico-químicos e biológicos sobre elas. Entretanto, as mudanças na geomorfologia e sedimentologia são continuas em ambientes estuarinos, e seus efeitos têm características específicas. A posição atual e evolução futura de um estuário podem estar relacionadas com as variações do nível do mar, o suprimento de sedimentos e a atividade tectônica, o qual busca um equilíbrio dos processos que o governam e resulta em um assoreamento.

Os estuários são feições de transição entre o oceano e o continente, onde ocorre a mistura da água doce do aporte fluvial, junto com sua descarga de material, com a água salgada do mar e as forçantes oceanográficas da costa adjacente (Prandle, 2009; Perillo, 1995).

A maioria dos estuários foi formada logo após a transgressão marinha no Holoceno, que se seguiu ao fim da última grande glaciação há cerca de 18.000 anos. Com o derreter do gelo, o nível do mar aumentou, fazendo com que antigos vales fluviais fossem afogados o que resultou na formação da dinâmica e morfologia dos estuários (Perillo, 1995; Dyer, 1995; Prandle, 2009). Neste período até os dias atuais, teve a tendência de preenchimento dos canais profundos por sedimentos, e muitos estuários estão em um estado avançado de assoreamento, por isso são feições consideradas efêmeras no tempo geológico, com um período de vida de poucos milhares de anos (Dyer, 1995).

Segundo Gordon (1979; *apud* Dalrymple *et al.* 1992) o regime sedimentológico de um estuário é um desequilíbrio relativo ao longo do tempo geológico. Pois quando a taxa de sedimentação é igual à taxa de erosão, este é considerado uma “armadilha” de sedimentos. Por isso que os estuários são caracterizados por serem sumidouros de sedimentos marinhos e fluviais (Bokuniewicz, 1995).

Além disso, com o desmatamento e atividades agrícolas ocorreu uma mudança no fluxo, na natureza e na quantidade de sedimentos que advinham do aporte fluvial. E nos dias atuais a morfologia dos estuários sofre modificações

rápidas, pois dependem muito mais do desenvolvimento urbano e das obras de engenharia costeira do que dos processos geológicos (Prandle, 2009).

O sistema estuarino atua como bacia de deposição dos materiais oriundos do continente através da descarga do aporte fluvial e como exportador de sedimentos para a região costeira. A importação dos sedimentos marinhos é devido a ação das correntes de maré, para o interior do estuário (Dyer, 1995). Pois a ação das correntes de maré, não é somente relevante para os processos de troca da salinidade, mas também para os processos de erosão, circulação e deposição dos sedimentos carregados pelo aporte fluvial. E a hidrodinâmica estuarina produz mudanças na descarga dos rios, as quais afetam nas características do transportes dos sedimentos e outras substâncias orgânicas ou poluentes, bem como as condições de vida da biota. (Dalrymple *et al.*, 1992).

Em geral, as definições de estuários variam com as delimitações destes ambientes, os quais possuem características diferentes, pois cada estuário é considerado único. Todavia, muitos estuários são classificados de acordo com os seus parâmetros fisiográficos: a morfologia e hidrologia, porém os componentes químicos e biológicos também deveram ser considerados (Perillo, 1995).

De acordo com a definição clássica de Pritchard (1952) os estuários são corpos de água costeiros semi-fechados e possui uma conexão livre com o oceano que contém uma quantidade mensurável de água do mar. Cameron & Pritchard (1963) embasados na definição anterior acrescentaram que a água do mar é diluída com água doce derivada da descarga fluvial.

Como as definições anteriores abrangem somente a zona de mistura, Dionne (1963 *apud* Perillo, 1995) introduz uma definição para o ambiente estuarino, onde ele divide este em três grandes setores a) Marinho ou baixo estuário, o qual possui uma conexão livre com o mar; b) Médio estuário, área de alta mistura entre água do mar e água da descarga fluvial; c) Fluvial ou alto estuário, caracterizado pela influencia de água doce, mas que ainda sofre ação das correntes de maré. Recentemente, Dalrymple *et al.* (1992) introduziram uma definição geológica embasada em aspectos de sedimentação estuarina. A qual pode ser simplificada em: a porção marinha do sistema de vale afogado que recebe os sedimentos tanto do aporte fluvial quando marinho, e contém fácies influenciadas por processos fluviais, ondas e marés. Sendo que a sua extensão é considerada no limite das

fácies de maré na parte interna, e os limites das fácies costeiras na desembocadura do estuário.

A classificação hidrodinâmica de estuários é embasada principalmente na distribuição da salinidade, o que é relevante para a geomorfologia e sedimentologia dos estuários de planície costeira (Bokuniewicz, 1995). Kjerfve (1987, *apud* Miranda *et al.*, 2002) apresentou outra definição de estuário levando em conta não somente a diluição da água, mas também a gênese geológica, os processos regionais (fatores climáticos, sedimentação recente e forçantes dinâmicas, como correntes, ondas e marés) que contribuem para a formação desses ambientes (FIGURA 5). Desse modo, segundo este autor, um estuário pode ser definido como um ambiente costeiro que apresenta uma conexão restrita com o oceano, sendo que está desembocadura permanece aberta pelo menos intermitentemente. Podendo assim ser dividido em três zonas distintas:

1) *Zona de Maré do Rio (ZR)* – porção fluvial com salinidade muito próxima a zero, mas ainda sujeita à influência da maré. Embora, nesta região a água seja integralmente de origem fluvial, o movimento é bidirecional devido à ação da maré;

2) *Zona de Mistura (ZM)* – é o estuário propriamente dito, onde ocorre a mistura da água doce oriunda do aporte fluvial com a água do mar, a qual é caracterizada pela convergência dos movimentos unidirecional do fluxo do rio e bidirecional das correntes de marés. Nesta zona há uma acentuada variação vertical e longitudinal da salinidade e das velocidades de correntes no estuário. Ademais, na transição entre a ZR e a ZM há uma região onde a velocidade resultante dos movimentos convergentes é quase nula, concentrando materiais e sedimentos em suspensão de origem fluvial e marinha, formando a chamada *Zona de Máxima Turbidez*. A qual devido aos processos de sedimentação faz com que o material de origem mineral e orgânica acumula-se sobre o fundo submarino que, a médio e longo prazo, podem constituir obstáculos para a navegação. Esse processo promove o aprisionamento dos sedimentos no interior do estuário, impedindo ou retardando a sua saída para a zona costeira. A localização da zona de máxima turbidez varia de acordo com vários fatores, dentre eles a intensidade da descarga fluvial e a altura da maré;

3) *Zona Costeira (ZC)* – região costeira adjacente que se estende até a *frente* da pluma estuarina, caracterizada por águas mais turvas que a do oceano aberto, que delimita a “Camada Limite Costeira”. O regime de marés e de ondas da

ZC condiciona a circulação do sistema estuarino, pois desenvolvem padrões de correntes longitudinais e transversais à desembocadura do estuário, no caso da existência de obstáculos na costa ao próximos a desembocadura (ex. recifes, deltas de maré, barras), o transporte litorâneo induzido por ondas pode acumular sedimentos na entrada dificultando ou até mesmo inibindo as trocas de sedimentos entre a ZM e ZC.

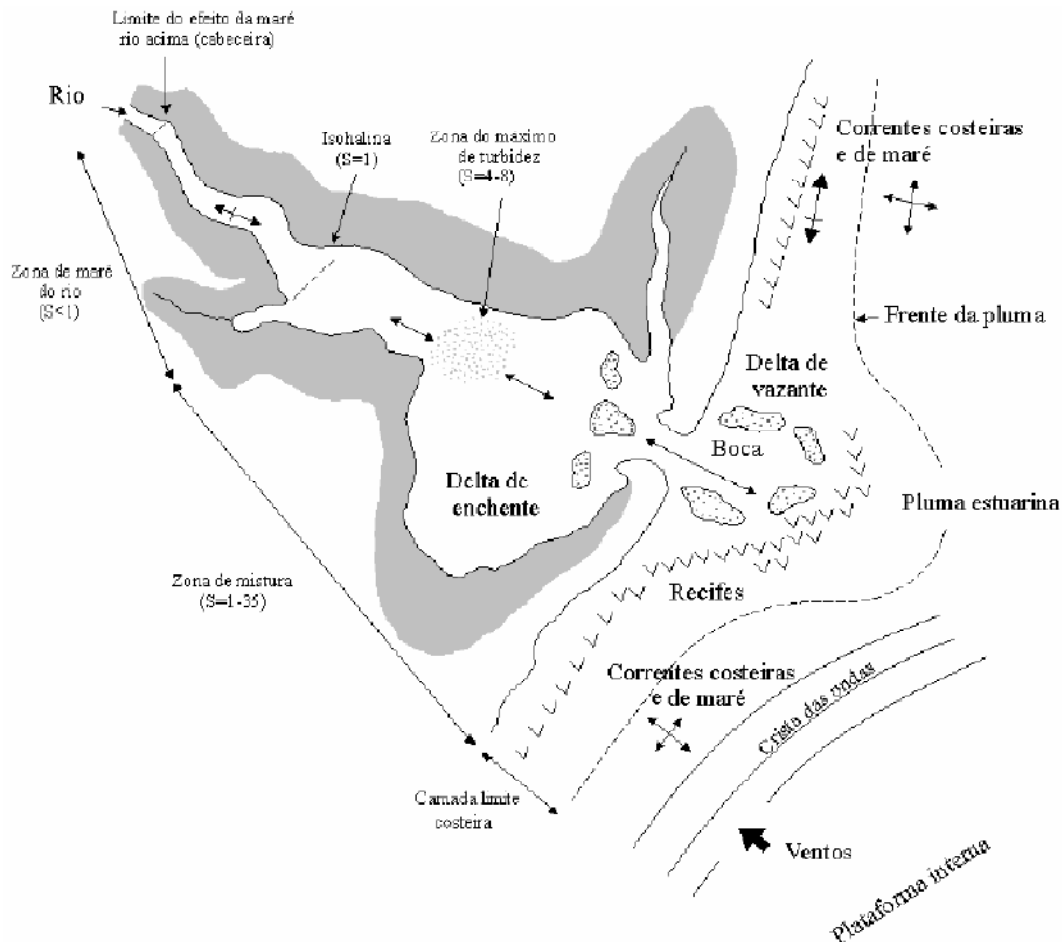


FIGURA 5: REGIÕES FUNCIONAIS DE UM ESTUÁRIO HIPOTÉTICO. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS E PROCESSOS NA ZONA DE MARÉ DO RIO (ZR), ZONA DE MISTURA (ZM) E ZONA COSTEIRA (ZC) (MIRANDA ET AL., 2002).

Em geral, essa caracterização por três zonas distintas, também vai influenciar no transporte de sedimentos, o qual vai depender da fonte dominante de energia. Na desembocadura do estuário os processos marinhos são dominantes (ondas oceânicas, e deriva longitudinal - formando barras, cúspides ou ilhas barreiras; Dyer, 1995).

Já a circulação e o transporte de sedimentos em estuários são restritos, pois as correntes de maré invertem as direções e somente os fluxos residuais (são dependentes sobre a densidade e assimetria da maré) que dirigem os sedimentos no estuário, os quais nem sempre são exportados. Isto resulta, com o passar do tempo, em um aumento exponencial de partículas de sedimento dentro do estuário. Esse processo faz com que tenha um assoreamento deste ambiente, resultando num futuro na passagem dos sedimentos do aporte fluvial diretamente para a plataforma continental. Os principais responsáveis pelas características estuarinas são os fatores hidrodinâmicos, isto é correntes de marés, aporte fluvial, circulação estuarina, ondas e forçantes atmosféricas. Com isso, o estuário resultante é uma consequência da combinação das ações desses fatores sobre todo o estuário ou sobre partes específicas, e essas interações entre diferentes fatores e as bordas são muito complexas e se mostram não lineares, evidenciando mudanças geomorfológicas associadas com os processos de transporte dos sedimentos (Dyer, 1995).

Os sedimentos que chegam ao estuário através do aporte fluvial são uma mistura heterogênea de tamanhos e composição, as quais são um reflexo das áreas fonte. Como os estuários são um ambiente deposicional, e quando comparado com a costa adjacente e o fluxo fluvial, apresentam baixa energia, os sedimentos finos (siltes e argilas) podem alcançar mais rapidamente o fundo deste ambiente e contribuir para a formação de depósitos de sedimentos, em especial na região de mistura estuarina (Dyer, 1995).

Segundo Dyer (1995) nos estuários podem ser observados três tipos principais de transporte de sedimentos: a carga de lavagem (*wash load*), a suspensão (*suspension*), e a carga de fundo (*bed load*). A carga de lavagem corresponde ao movimento da fração mais fina dos sedimentos (argilas) que se movimenta virtualmente em todas as velocidades de correntes e que dificilmente são depositadas somente com a influência da força da gravidade, necessitando a atuação de vários mecanismos de agregação de partículas. O perfil vertical característico da concentração de sedimentos de carga de lavagem é homogêneo.

O transporte por suspensão é o movimento dos sedimentos que foram erodidos do fundo, devido à troca de *momentum* entre as correntes de fundo e os sedimentos por causa da turbulência. Uma vez em suspensão, somente correntes de baixa intensidade vão permitir a deposição dos sedimentos finos, enquanto que

para as areias o limite dessa velocidade é maior. Desse modo, a intensidade de corrente necessária para manter os sedimentos finos em suspensão é muito menor do que para manter sedimentos arenosos em suspensão. O perfil vertical característico do transporte por suspensão é a tendência gradacional da concentração de sedimentos, com altas concentrações próximas ao fundo (Dyer, 1995).

Segundo Dyer (1995), o transporte de sedimentos como carga de fundo é o movimento horizontal do sedimento sobre o fundo. Para as areias, este tipo de transporte ocorre comumente por meio de arrasto ou rolamento das partículas. Já o transporte dos sedimentos finos como carga de fundo dentro de um estuário, geralmente acontece como lama fluída, que tem sua origem relacionada à deposição de sedimentos finos na ZMT.

4.2. PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA

Segundo Wright (1995), a Plataforma continental interna é uma continuação tanto no aspecto de morfologia, dinâmica e sedimentologia das praias e zonas de surf, assim como desembocaduras dos rios e estuários. Este autor define a plataforma interna como sendo a extensão da zona de arrebentação das ondas, onde as ondas normalmente (ou com uma maior frequência) agitam o fundo.

Os sedimentos trazidos pelos rios são submetidos a ciclos de transporte, deposição e ressuspensão a partir do momento em que deixam a cabeceira do rio até chegarem ao local de deposição de longo prazo (Wright, 1995).

A plataforma continental interna também funciona como via de fornecimento de sedimentos continentais para as áreas mais profundas da bacia oceânica. Ainda assim, esta região modula as forças hidrodinâmicas que dirigem os processos costeiros na zona de *surf* e nos estuários. Os processos de transporte de sedimentos na plataforma interna são mais intensos do que na plataforma média, devido às pequenas profundidades, em que as ondas conseguem alcançar o fundo e também da turbulência do desgaste da energia das ondas sobre a plataforma interna (Wright, 1995).

Wright (1995) destaca a existência de quatro estágios na dispersão dos sedimentos oriundos do aporte fluvial em direção ao mar, (FIGURA 6). O estágio I envolve dispersão e desaceleração iniciais dos sedimentos fluviais carregados em

direção ao mar através de plumas. O estágio II representa a deposição inicial dos sedimentos das plumas. No estágio III, os sedimentos são ressuspensos e transportados por correntes e ondas. Finalizando no estágio IV, a acumulação de longo prazo dos sedimentos. E estes estágios podem coexistir no tempo e no espaço, apesar de serem distintos.

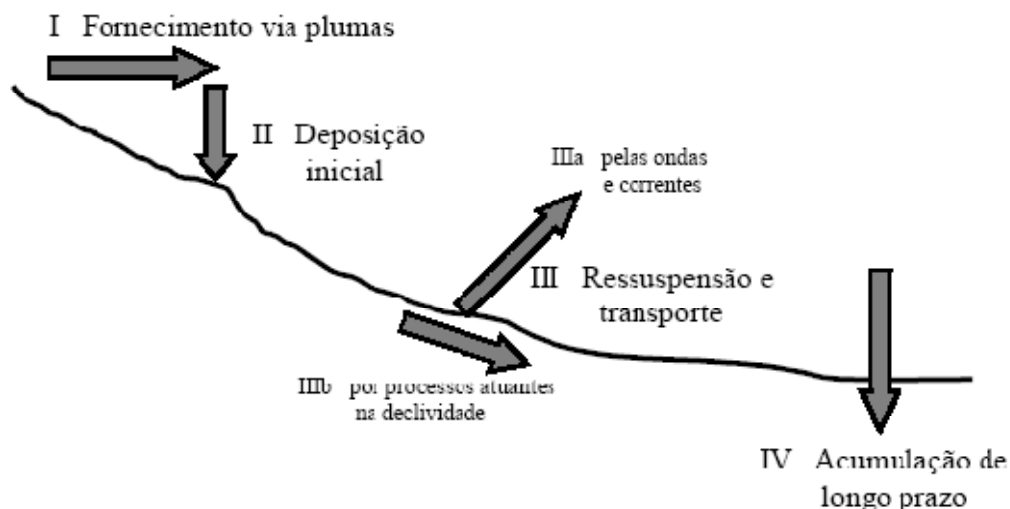


FIGURA 6: MODELO CONCEITUAL DOS ESTÁGIOS DE DISPERSÃO DOS SEDIMENTOS DESDE AS CABECEIRAS DOS RIOS ATÉ A DEPOSIÇÃO DE LONGO PRAZO (MODIFICADO DE WRIGHT, 1995).

Este mesmo autor, afirmou que as alterações na morfologia costeira estão principalmente relacionadas aos processos de energia de ondas na plataforma continental rasa. Além disso, ele sugere que o termo morfodinâmica, seja usado para indicar a união de uma série de processos mutuamente interdependentes, envolvendo hidrodinâmica, morfologia do fundo e seqüência de alterações. Assim, considerando uma forma de interação que ocorre entre a plataforma interna com os processos de redistribuição sedimentar na plataforma continental rasa, nos estuários, desembocaduras destes, zona de *surf* e costa adjacente. Essa interação está relacionada com formas erosivas e deposicionais, processos hidrodinâmicos e estruturas de camadas de fricção, entre a massa de água e a superfície de fundo, as quais são causadas pela interação da água com o fundo, durante um determinado período. Essa interação causa atrito, que é o responsável pelas mudanças no padrão do fluxo, as quais são responsáveis pelas modificações que ocorrem nos ambientes deposicionais.

Segundo Wright (1995), a abordagem morfodinâmica, envolve três tipos de análise (FIGURA 7):

1- Análise do caráter e variabilidade espaço-temporal das condições ambientais do sistema costeiro. Esta variabilidade temporal é responsável pelas variações na morfologia básica dos sistemas costeiros. Sendo que as condições ambientais incluem três tipos de fatores: a) o estado inicial dos limites sólidos, incluindo a geologia regional ou local, e o estado morfológico preexistente (ex. configuração da linha de costa e da plataforma); b) a abundância e a natureza do material inconsolidado (sedimento) disponível para produzir uma resposta morfológica; e c) a frequência, magnitude e as características das fontes de energia externas (ondas, maré, ventos, correntes, etc.) que entram no sistema e provêm uma mudança das forças e instabilidade.

2- Análise dos processos hidrodinâmicos de interação e transformação, que operem para produzir padrões morfológicos observados e mudanças morfológicas. A dinâmica dos fluídos e os processos morfodinâmicos são ligados pelas condições ambientais que se alteram mutuamente, produzindo e modificando a morfologia dependente das fontes de energia externa que os regem (FIGURA 7). Desta forma, um processo morfodinâmico é definido como uma interação e mudança mútua entre morfologia e forças hidrodinâmicas, envolvendo o movimento de sedimentos. Os processos morfodinâmicos são normalmente determinísticos e estocásticos, onde os mecanismos de ligação podem ser explicados ou previstos pelos princípios da física. Em um sistema costeiro típico, os processos morfodinâmicos aumentam em intensidade e complexidade com o decréscimo da profundidade e com a proximidade da costa.

3- Análise da seqüência evolutiva de curto e longo prazo em que foram preservadas morfologias e estratigrafias e que progressivamente alteram a dinâmica do ambiente e a combinação dos processos. É por meio das seqüências evolutivas que: a) a herança de estágios anteriores é propagada para estágios seguintes, b) os ambientes deposicionais tornam-se preservados, e c) as condições ambientais são alteradas, sendo que estas alterações nos ciclos de praias, por exemplo, são evoluções estratigráficas de curto prazo. E o desenvolvimento de ambientes deltaicos de grande escala é exemplo de evolução costeira de longo prazo.

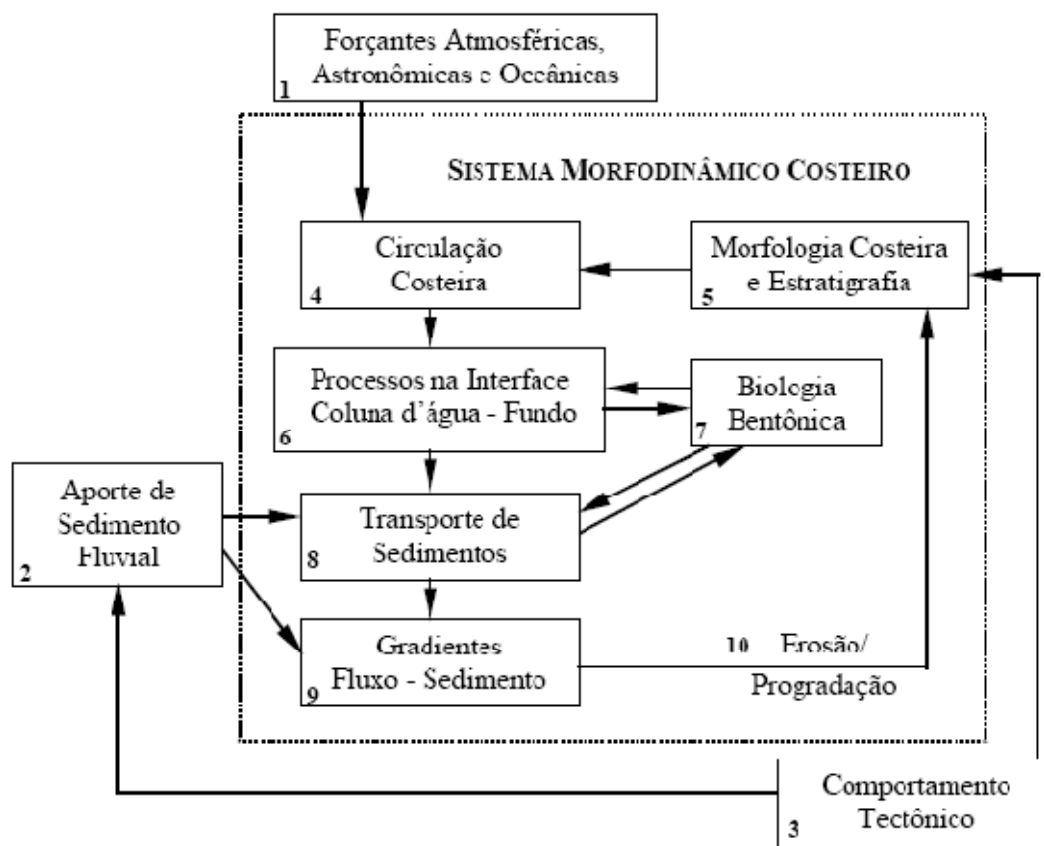


FIGURA 7: FLUXOGRAMA ILUSTRANDO OS ELEMENTOS IDEALIZADOS E AS SUAS RELAÇÕES EM UM SISTEMA MORFODINÂMICO COSTEIRO (MODIFICADO DE WRIGHT, 1995).

4.3. DELTAS DE MARÉ

Deltas de marés ocorrem em regiões costeiras com amplitude de maré máxima de 4 m associados a desembocaduras de estuários ou lagunas formadas por ilhas barreiras (Hayes, 1975, *apud* Angulo 1999). O CEP possui variações na amplitude de maré inferior a 2 m nos períodos de sizígia (Marone *et al.*, 1997). As desembocaduras de estuários de planície costeira são dominadas por processos marinhos (ondas oceânicas, e deriva longitudinal - formando barras, cúspides ou ilhas barreiras). Sendo que, em estuários dominados por marés, o sistema de barras formado é alongado na direção da corrente principal de maré (Dalrymple *et al.*, 1992).

Em costas com regime de maré de até 2 m de amplitude, os deltas de maré enchente possuem uma tendência a serem mais bem desenvolvidos do que o delta de maré vazante. Já em regiões com amplitude de maré variando de 2 m a 4 m, a tendência é oposta. Entretanto, nas costas com significativa energia de ondas, a

tendência é que os deltas de maré vazante não sejam desenvolvidos em comparação com os deltas de maré enchente (Hayes, 1975; *apud* Angulo, 1999).

Segundo Hayes (1980), a descrição dos principais componentes morfológicos de um delta de maré vazante são: a) o canal principal de vazante, no qual há dominância das correntes de vazante sobre as correntes de enchente; b) as barras lineares marginais do canal principal de vazante, as quais ficam localizadas nas margens do canal principal e são construídas pelas correntes de vazante e enchente, e pelas correntes geradas por ondas; c) o lobo terminal, localizado na extremidade do canal principal como uma borda bem delimitada em direção ao oceano; d) plataforma de espraimento, esparsos bancos de areia margeando ambos os lados do canal principal; e) as barras de espraimento isoladas, construídas pela ação das ondas que ocorrem nas plataformas de espraimento, e f) os canais marginais de enchente, dominados pelas correntes de maré enchente que normalmente se localizam entre a plataforma de espraimento e as costas adjacentes (FIGURA 8).

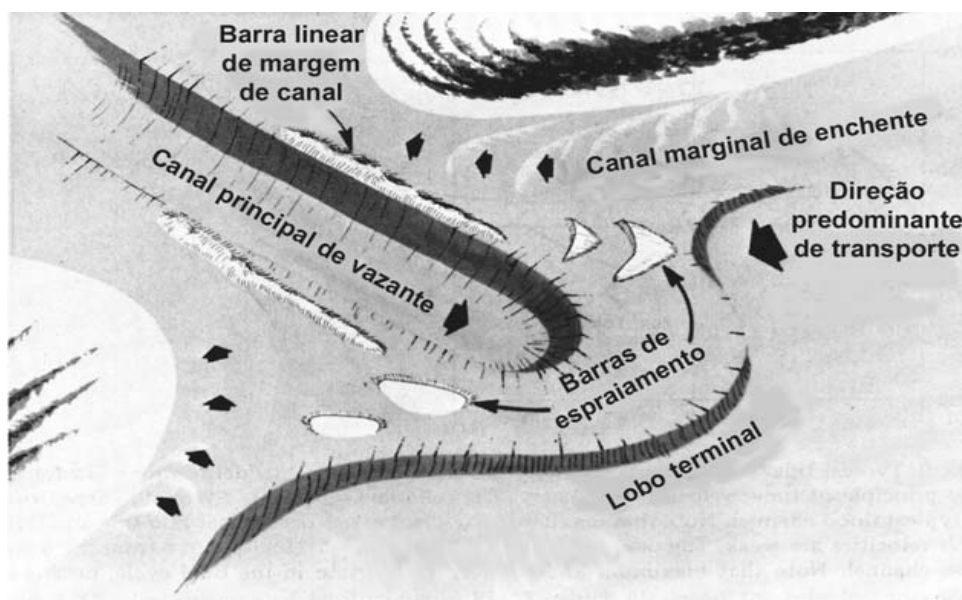


FIGURA 8: MODELO MORFOLÓGICO DE DELTA DE MARÉ VAZANTE EM COSTAS COM AMPLITUDE DE MARÉ MÁXIMA DE 4 M, SOB INFLUÊNCIA DE ONDAS E CORRENTES DE DERIVA LONGITUDINAL E DE MARÉ (HAYES, 1980).

Este mesmo autor descreveu um modelo morfológico para delta de maré enchente, onde foram identificados: a) a rampa de enchente, com uma inclinação em direção da corrente de enchente; b) os canais de enchente, os quais são

dominados pelas correntes de maré enchente que se dividem ao final da rampa de enchente; c) o escudo de vazante, feição com uma borda bem delimitada e alto grau de inclinação; d) o esporão de vazante que é formado pelas correntes de maré vazante, e e) os lobos de derramamento, que são feições formadas pelas correntes de fluxo unidirecional (FIGURA 9).

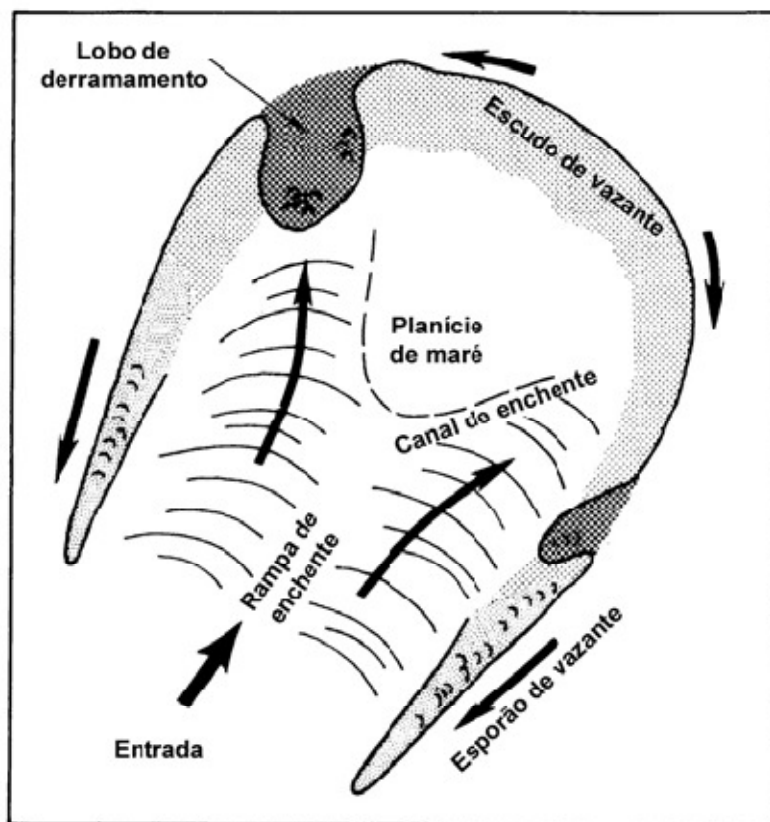


FIGURA 9: MODELO MORFOLÓGICO DE DELTA DE MARÉ ENCHENTE SEGUNDO HAYES (1980).

No litoral paranaense, Angulo (1992; 1999) identificou como deltas de maré vazante as seguintes áreas: a entrada do Mar da Ararapira, a desembocadura do canal do Superaguí, a desembocadura da Baía de Guaratuba e as desembocaduras do CEP. Este mesmo autor identificou na desembocadura sul do CEP as principais feições descritas no modelo de delta de maré vazante de Hayes (1980) os quais são: o lobo terminal, as barras de espraçamento, o canal marginal de enchente, o canal principal de vazante, e a barra linear marginal ao canal (FIGURA 10).

Angulo (1999), através de fotos aéreas datadas de 1980, identificou um sistema complexo de barras conhecidas como Banco da Galheta, com barras em

pontal recurvadas, com *sandwaves* e dunas subaquosas. Este autor também observou em fotografias aéreas de 1954, a presença de formas de fundo crescendo para o interior do estuário, mostrando a direção preferencial do transporte de sedimentos, pela deriva litorânea.



FIGURA 10: DELTAS DE MARÉ NA DESEMBOCADURA SUL DO CEP. (1) BARRAS DE ESPRAIAMENTO; (2) BARRA LINEAR DE MARGEM DE CANAL; (3) LOBO TERMINAL; (4) CANAL PRINCIPAL DE VAZANTE; E (5) CANAL MARGINAL DE ENCHENTE; (6) RAMPA DE ENCHENTE; (7) ESPORÃO DE VAZANTE; (8) DIREÇÃO PREFERENCIAL INFERIDA, DE MIGRAÇÃO DE FORMAS DE FUNDO; E (9) DIREÇÃO INFERIDA DE DERIVA LITORÂNEA (ÂNGULO, 1999).

Lamour *et al.* (2007) realizaram comparações batimétricas na porção externa do Canal da Galheta sobre o delta de maré vazante, e o estudo compreendeu dados entre 1975 a 1998, com uma base de diferentes fontes, tanto analógicas quanto digitais. Estes autores encontraram um ponto crítico de assoreamento localizado nas bóias de sinalização 3 e 4, com o avanço do Banco da Galheta sobre o canal fazendo com que este tenha uma curvatura neste trecho. Lamour (2000) analisou tendências de transporte de sedimentos e intensidades de correntes na desembocadura do CEP (FIGURA 11). Soares *et al.* (1997) verificaram áreas críticas de assoreamento entre as bóias de sinalização 6 e 8, concluindo que o canal também funciona como uma armadilha de sedimentos oriundos do quadrante NE.

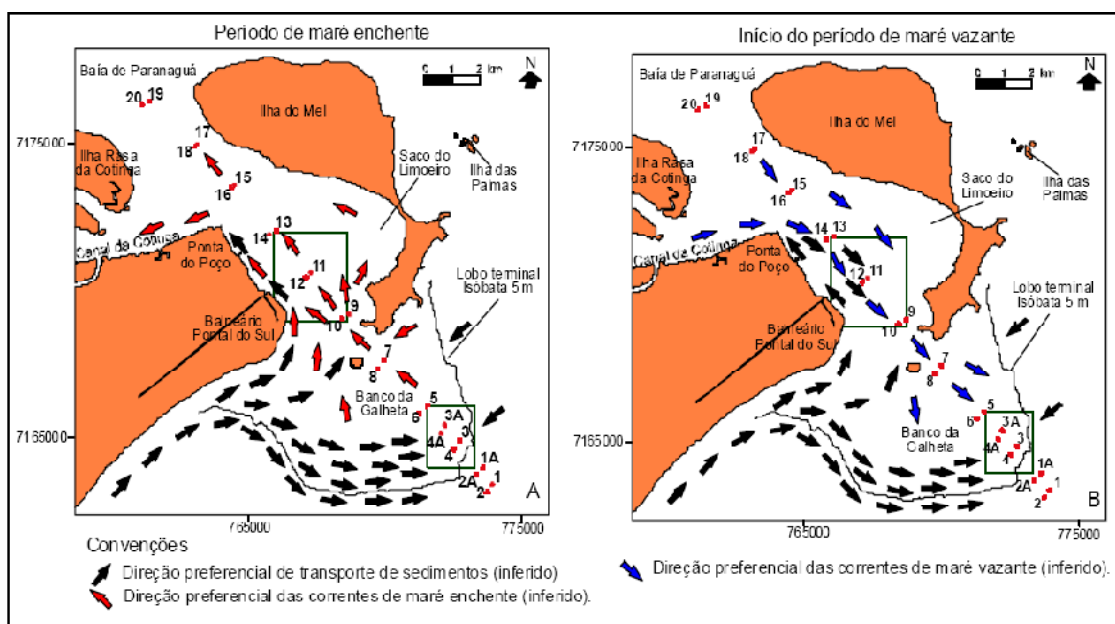


FIGURA 11: MODELO CONCEITUAL DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM PERÍODOS DE MARÉ ENCHENTE E VAZANTE NA DESEMBOCADURA SUL DO CEP (LAMOUR, 2000).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. DADOS BATIMÉTRICOS

5.1.1. Método de obtenção de dados utilizado pela empresa Paranaguá *Pilots*

Para a confecção das cartas náuticas são utilizadas folhas de bordo, que são o conjunto de informações pontuais de batimetria obtidas durante uma sondagem. Esta contém as coordenadas e as profundidades em forma de planta, sendo o resultado final do levantamento batimétrico. Em regiões rasas como estuarinas, rios ou próximas a costa, as folhas de bordo são reduzidas ao Nível de Redução de Sondagens (NR).

O NR é um nível a que estão referenciadas as alturas de maré e as profundidades plotadas nas cartas náuticas. Esse nível é definido segundo a Organização Hidrográfica Internacional como “um plano tão baixo que a maré, em condições normais, não fique abaixo dele” (Marinha do Brasil, 2009).

A medição da profundidade é pontual, e para a realização de levantamentos batimétricos em grandes áreas, a profundidade é medida através do cálculo da diferença entre a emissão e a recepção de ondas acústicas refletidas pelo fundo a partir de um ecobatímetro ou eco-sonda. Os ecobatímetros usam um emissor de ultra-som, tipicamente, um cristal piezo-elétrico, e um receptor. Uma onda de som ultra-sônica, acima de 18 kHz é emitida e refletida por um obstáculo, através do cálculo do tempo de ida e volta é possível determinar a presença dos obstáculos e a sua posição. Além disso, podem emitir sinais sonoros onde a frequência é menor do que 18 kHz (Miguens, 1996).

Segundo Miguens (1996), os sinais acústicos emitidos pelas eco-sondas são gerados a partir da conversão de energia elétrica em mecânica por um transdutor instalado geralmente junto ao fundo da embarcação, próximo a quilha. O sinal acústico emitido percorre o meio líquido até ser refletido pelo fundo, sendo parte absorvido pelo substrato e parte refletido novamente para a coluna de água. O sinal refletido é então captado pelo receptor do aparelho. O qual é transformado diretamente em profundidade e apresentado, visualmente ou graficamente, no registrador (FIGURA 12).

A medição da profundidade se dá a partir da relação entre a velocidade de propagação do sinal acústico no meio líquido e a diferença de tempo entre a sua emissão e a recepção do eco refletido pelo fundo. O tempo que o sinal leva para retornar denomina-se TOF, (*Time of flight*); e através dele pode-se calcular a distância de um objeto. A profundidade é igual à velocidade do som na água multiplicada pela metade do intervalo de tempo que o sinal leva para retornar.

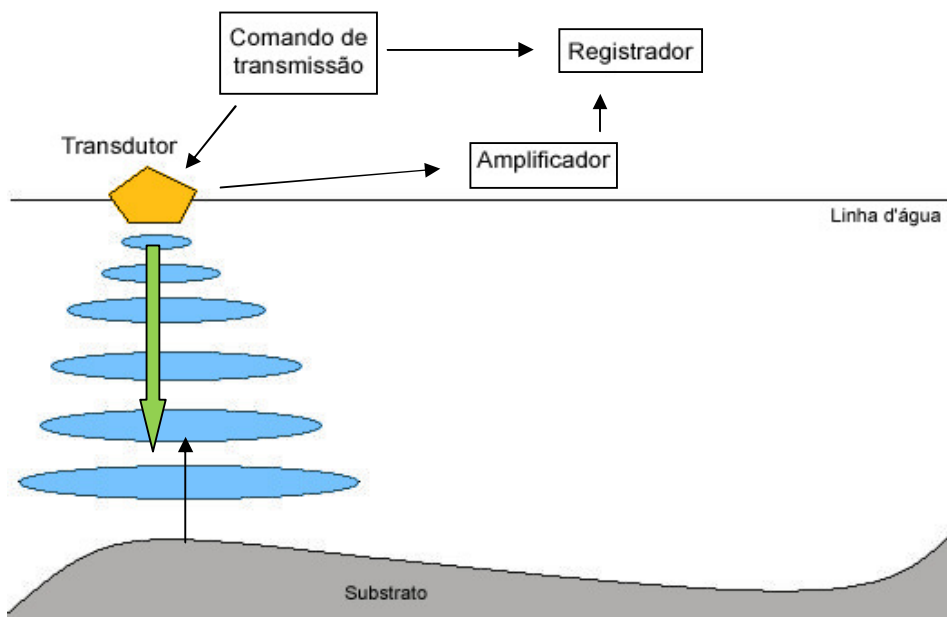


FIGURA 12: PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO ECOBATÍMETRO. (MODIFICADO DE MINGUENS, 1996)

5.1.2. Conjunto de dados

Os dados de batimetria da área de estudo fazem parte do acervo da empresa *Paranaguá Pilots* (Praticagem dos portos costeiros do Paraná). Esta empresa realiza levantamentos batimétricos nas áreas de interesse portuário como nos canais de acesso, áreas de fundeio, bacias de evolução e áreas que representem perigo a navegação. A *Paranaguá Pilots* necessita obter profundidades precisas destas áreas, pois estas apresentam constantes mudanças na sua batimetria ao longo do tempo. Além disso, as alterações da profundidade podem afetar diretamente a segurança da navegação. Os dados para este estudo são contínuos, correspondentes a uma série temporal de 9 anos, que variam de 1999 a 2008, sendo que correspondem a 38 levantamentos batimétricos estão distribuídos ao longo dos setores do canal navegável.

5.2. ORGANIZAÇÃO, PADRONIZAÇÃO E RECOBRIMENTO DOS DADOS

A organização das informações foi efetuada pela homogeneização dos dados em formato ASCII, contendo longitude, latitude e profundidade. O conjunto de dados foi padronizado a um mesmo sistema de coordenadas (UTM) e datum horizontal (South American Datum 1969).

Para obtenção das áreas de recobrimento, cada arquivo batimétrico foi transformado do formato ASCII para EXCEL (.xls). Com isso, o *software* ArcGIS 9.2 (ESRI) foi utilizado para plotar os arquivos batimétricos sobre uma base cartográfica digital do banco de dados do LOGEO.

Após o estabelecimento das áreas de recobrimento, foram selecionados os arquivos de interesse pela sua área e data de sondagem, o critério usado foi o tamanho dos levantamentos. Os trechos que obtiveram sobreposição dos levantamentos batimétricos tiveram suas áreas padronizadas, onde os limites das batimetrias foram selecionados e excluídos deixando os dados homogêneos para posteriores comparações (FIGURA 13).

A partir disso, os arquivos receberam uma nova nomenclatura, a qual foi elaborada seguindo os setores do canal considerando os ambientes deposicionais (costeiro, estuarino e fluvial), visando facilitar a localização espacial. Nem todos os arquivos foram usados, pois os arquivos tinham uma malha de pontos muito pequena, que não eram comparáveis com os demais levantamentos e não atendiam a demanda do trabalho. Dos 124 levantamentos batimétricos, foram utilizados para este estudo 38 destes arquivos, com os quais foram gerados os mapas batimétricos e determinada as taxas de sedimentação utilizando um Sistema de Informações Geográficas.

5.3. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Um SIG consiste em um sistema computacional, o qual reúne um poderoso conjunto de ferramentas para a entrada, armazenamento, recuperação, transformação, análise e representação de dados para um conjunto de específico de propósitos. O princípio fundamental para o funcionamento do SIG é o georreferenciamento, ou seja, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão inter-relacionadas com base no que é fundamentalmente comum entre elas, a localização geográfica (Câmara, 1997; FIGURA 14).

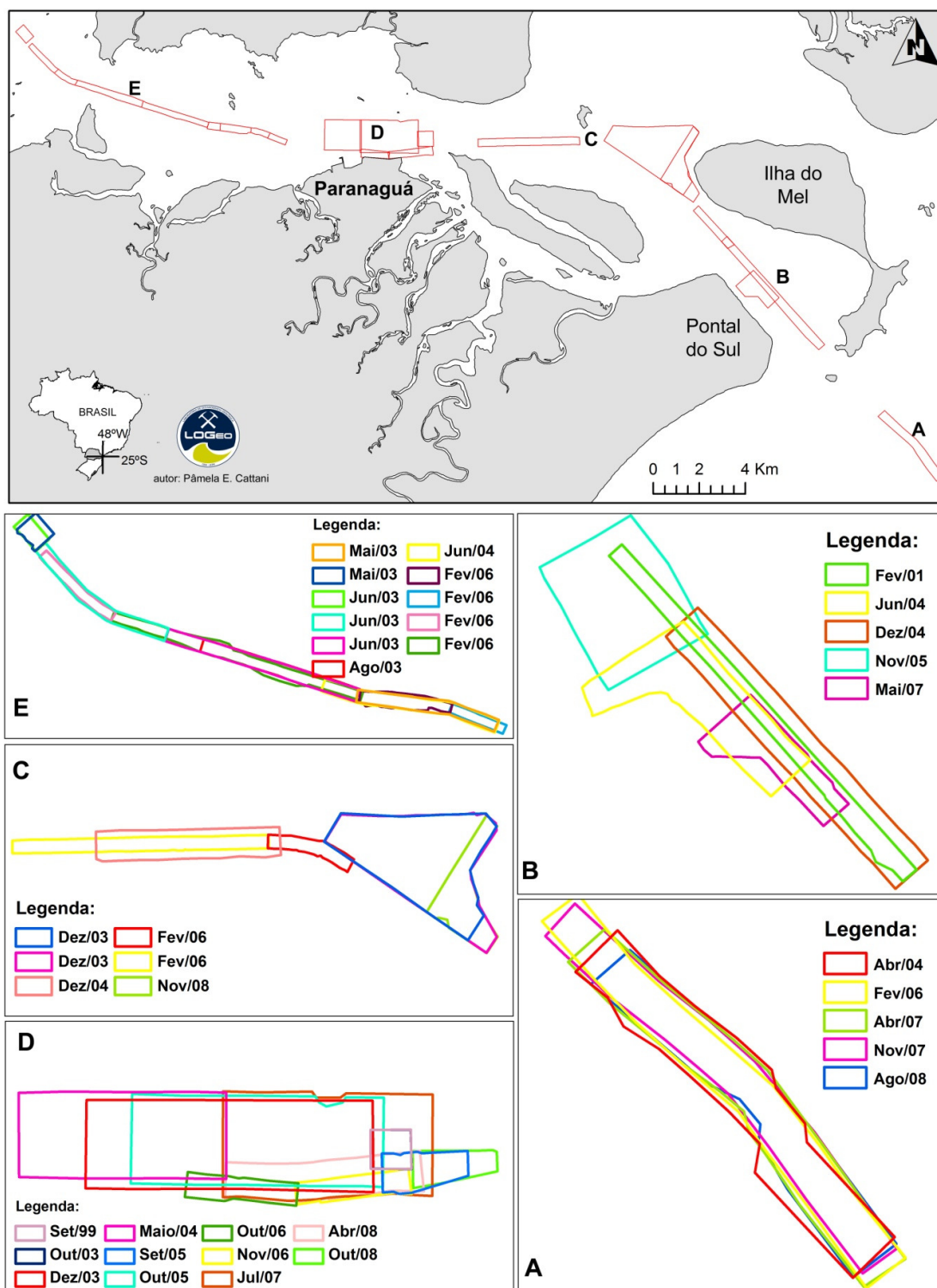


FIGURA 14: MAPA DE LOCALIZAÇÃO E DATAS DE REALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS AO LONGO DO CEP, COM A DIVISÃO DOS DADOS EMBASADOS NOS AMBIENTES DISTINTOS DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO, ZONA DE MÁXIMA TURBIDEZ, DESEMBOLCADURA DO ESTUÁRIO E PLATAFORMA INTERNA RASA.

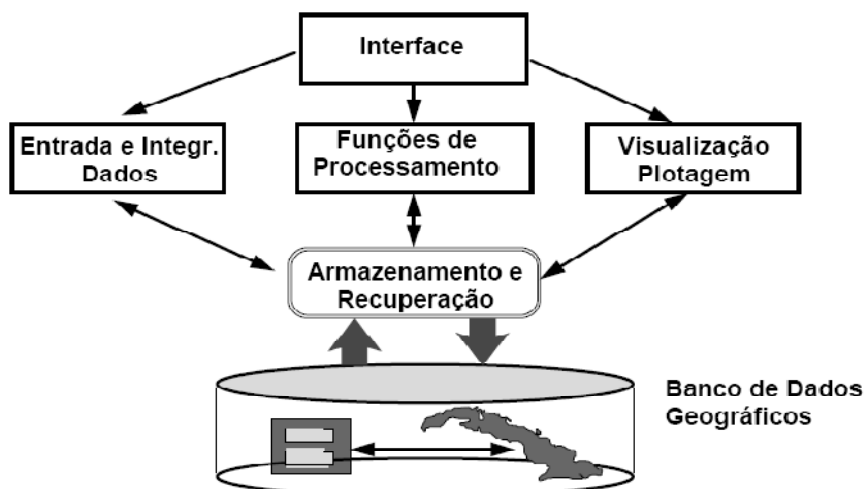


FIGURA 14: ARQUITETURA DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG). FONTE: CÂMARA, 1997.

5.4. MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDE)

A utilização dos modelos digitais, para o uso de análises, possibilita o estudo de um determinado fenômeno sem a necessidade de se trabalhar diretamente na região escolhida, pela dificuldade de deslocamento ou limitação da região, como relevos subaquáticos. As análises podem ser qualitativas ou quantitativas e são importantes para fins de simulações e tomadas de decisão no contexto de desenvolvimento de aplicações, ou modelagens, de geoprocessamento que utilizam SIGs (Felgueiras, 1997).

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) representa o comportamento de um fenômeno que ocorre em uma região da superfície terrestre. O MDE foi definido por Burrough & McDonnell (1998, *apud* Fernandes & Menezes, 2005) como qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço. Existem várias aplicações para os MDE, como calcular volumes, construir perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas, gerar mapas de declividade e orientação (aspecto), gerar fatiamentos, perspectivas tridimensionais, e calcular áreas e distâncias em superfície real (Fernandes & Menezes, 2005).

Entretanto, existem diferentes métodos de geração de MDE, os quais podem ser construídos, através de grades regulares retangulares (GRID) ou estrutura de grade triangular (TIN), com a utilização de diferentes algoritmos de interpolação. A escolha do melhor modelo vai depender da intenção de uso, do tipo

de terreno que se queira representar e da disponibilidade dos dados de entrada (Medeiros *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2009). A bibliografia pertinente mostra alguns trabalhos que testam os melhores modelos para a confecção dos MDE, entretanto, não foi chegado a nenhum consenso definitivo sobre o qual é mais indicado para cada tipo de trabalho.

5.4.1. Estrutura de grade Triangular (TIN)

Para a elaboração dos MDEs neste trabalho, foi gerada uma estrutura de grade triangular ou TIN (*Triangular Irregular Network*). Este método foi empregado, pois TINs são normalmente utilizados para a modelagem de alta precisão de pequenas áreas, tais como em aplicações de engenharia, onde são necessários cálculos de área planimétrica, de superfície e de volume (Booth, 2001). A rede de triângulos irregulares foi projetada por Peucker *et al.* (1978 *apud* Medeiros *et al.* 2009) para a modelagem de elevação digital usando pontos de elevação irregularmente espaçados para formar uma rede de facetas triangulares. As quais correspondem a uma estrutura do tipo vetorial, com tipologia tipo nó-arco e representa uma superfície de faces triangulares interligadas, as quais armazenam em cada vértice do triângulo as coordenadas de localização (x, y) e o atributo (z), no caso a profundidade (Booth, 2001; FIGURA 15).

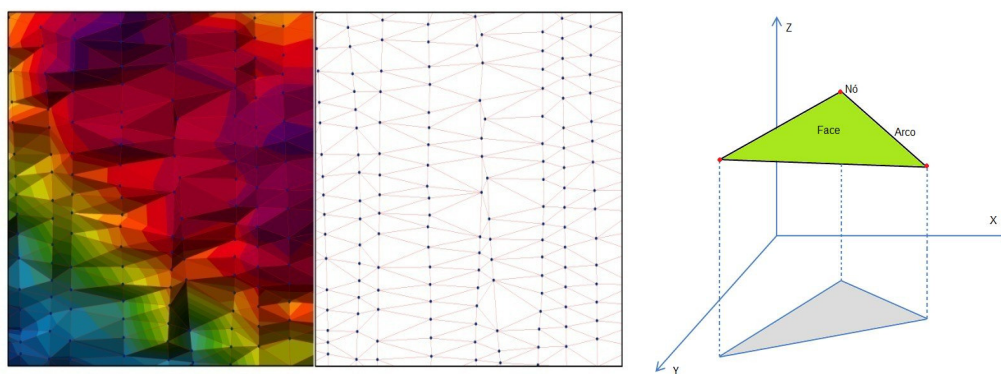


FIGURA 15: DESENHO ESQUEMÁTICO DA GERAÇÃO DE UM TIN, COM ARCOS E NÓS PARA FORMAR O TRIÂNGULO.

Adotando-se critérios específicos para construção da rede triangular pode-se chegar a malhas únicas sobre o mesmo conjunto de amostras. Uma dessas malhas, muito utilizada na prática nos SIGs atualmente é a malha de Delaunay, mais conhecida como *triangulação de Delaunay*. O critério utilizado na triangulação de Delaunay é o de *maximização dos ângulos mínimos* de cada triângulo. Isto é a

malha final deve conter triângulos o mais próximo de equiláteros possível evitando-se a criação de triângulos afinados, ou seja, triângulos com ângulos internos muito agudos. Esta triangulação tem a propriedade de que os círculos que circunscrevem cada triângulo não contêm nenhum vértice de outro triângulo (FIGURA 16).

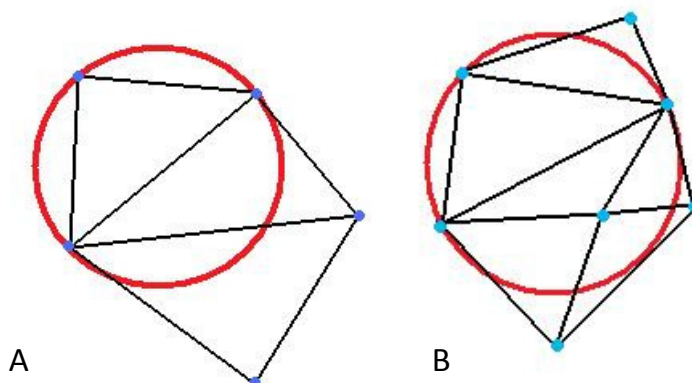


FIGURA 16: INTERPOLAÇÃO TRIANGULAR DE PONTOS. A) TRIÂNGULAÇÃO DE DELAUNAY B) OUTRO TIPO DE TRIANGULAÇÃO. (MODIFICADO DE FELGUEIRAS & CÂMARA, 2001)

5.4.2. Perfis batimétricos

Os perfis batimétricos foram feitos ao longo do canal para cada levantamento batimétricos e também perpendicular ao canal a cada 500 m. Perfis mostram a mudança de elevação de uma superfície ao longo de uma linha. Os gráficos dos perfis batimétricos foram criados a partir das superfícies TIN, pela extensão *3D Analyst* na opção *Interpolate Line* uma linha é digitalizada sobre a superfície desejada.

5.5. CÁLCULO DOS VOLUMES

5.5.1. Área e Volume

Para os cálculos de área e volume é utilizada a ferramenta *Area and Volume* na opção *Surface Analysis* da extensão *3D Analyst*. Esta ferramenta é usada para calcular o volume de uma superfície acima ou abaixo de um plano de base a uma determinada altitude, para este trabalho na profundidade zero, que corresponde ao NR, e o volume calculado será a quantificação do volume de água contido abaixo deste nível ("volume vazio"; FIGURA 17).

Para o cálculo de volume foram utilizadas as superfícies TIN, se a superfície é um TIN, cada triângulo é analisado para determinar a sua contribuição para a área e o volume. A soma destas peças é usada para o resultado. (ESRI ArcGIS 9.2, 2009).

5.5.2. Taxas de assoreamento

O cálculo das taxas de erosão e/ou sedimentação foi extraído a partir dos volumes. Em batimetrias seqüenciais os “volumes vazios” foram subtraídos, esse valor encontrado é o volume de sedimentos que erodiu ou assoreou em um determinado intervalo. A partir disso, esse volume foi dividido pelos meses referentes ao intervalo de cada batimetria. Portanto a taxa de sedimentação e/ou erosão é dada por $m^3/mês$.

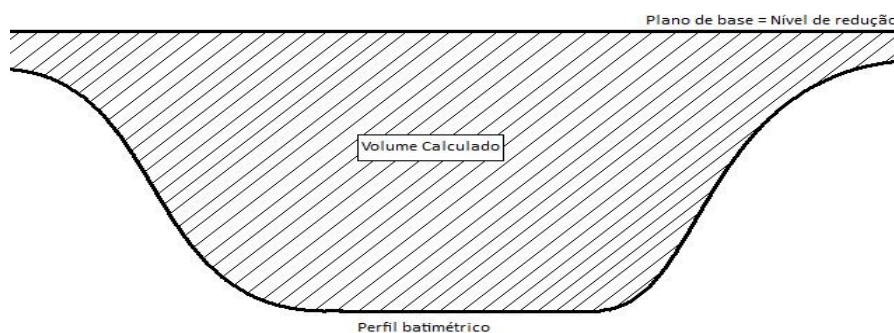


FIGURA 17: DESENHO ESQUEMÁTICO DO CÁLCULO DE VOLUME, PARA OS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.

6. RESULTADOS

Nesta seção é apresentada a descrição e a comparação dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) para todos os 38 levantamentos batimétricos inseridos nos diferentes ambientes deposicionais do eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), assim como as taxas de assoreamento e/ou erosão para cada ambiente. A divisão dos ambientes deposicionais, para a separação dos levantamentos batimétricos, foi embasada em parâmetros do CEP, os quais foram estudados por diversos autores. Tais parâmetros observados foram: granulometria (Lamour *et al.*, 2004; Lessa *et al.*, 1998; Lamour, 2000; 2007; Odreski, 2002), temperatura, densidade, clorofila, turbidez da água, (Noernberg, 2001), salinidade (Noernberg, 2001; Zem, 2008) material particulado em suspensão (MPS), ZMT (Noernberg, 2001; Mantovanelli, 1999; Zem, 2008) e lama fluída (Soares & Noernberg, 2007), dividindo o CEP em: Cabeceira do estuário, Zona de Máxima Turbidez, Desembocadura do estuário e Plataforma continental interna (FIGURA 18; TABELA 4). Porém o setor Plataforma continental interna só foi dividido pelas características granulométricas, pois não apresentou as informações referentes aos outros parâmetros.

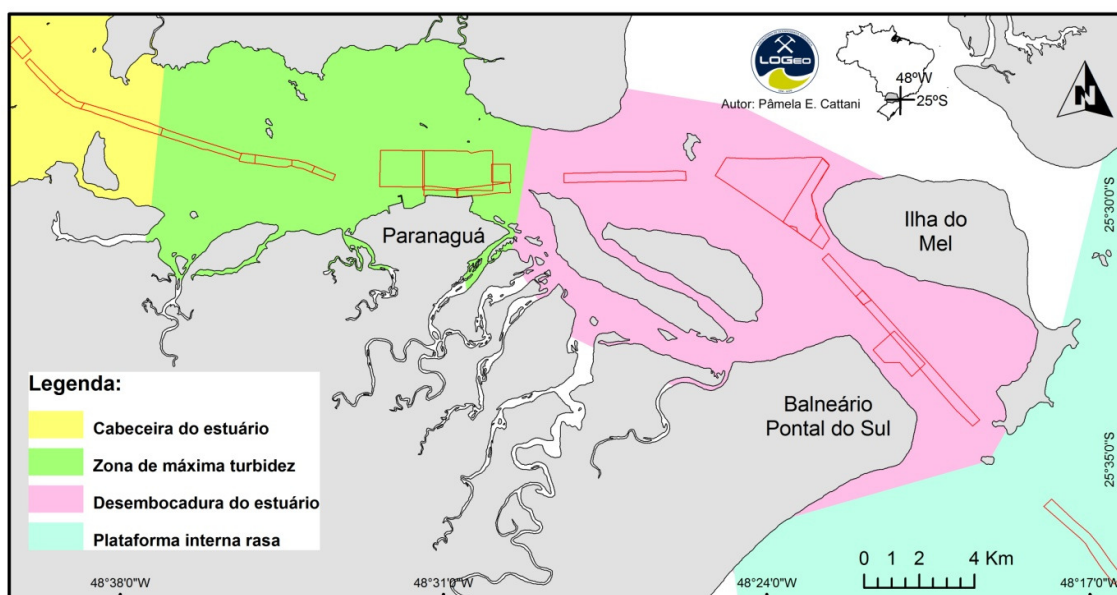


FIGURA 18: MAPA DE LOCALIZAÇÃO E DIVISÃO DO CEP, SEGUNDO OS PARÂMETROS IDENTIFICADOS POR NOERNBERG (2001), LESSA ET AL. (1998) E LAMOUR ET AL. (2004).

Tabela 4: Parâmetros utilizados para a divisão dos setores do CEP em (A) Cabeceira do estuário; (B) Zona de Máxima Turbidez; (C) Desembocadura do estuário; (D) Plataforma continental interna.

Parâmetros	A	B	C	D
Granulometria média (<i>phi</i>)	7-5 *	6-3	5-2	3-1
Salinidade superfície (<i>ups</i>)	6,5	16	29	-
Salinidade meio (<i>ups</i>)	8	18	30	-
Salinidade fundo (<i>ups</i>)	14	23	32	-
Densidade (Kg m^{-3})	1005	1012	1019	-
MPS (mg L^{-1})	20	31	35	-
Clorofila ($\mu\text{g L}^{-1}$)	8	34	5	-

* predominância, porém com porções de (0-2).

6.1. PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA

Os levantamentos batimétricos que foram comparados a seguir estão localizados na Plataforma Interna, sobre o delta de maré vazante, correspondente ao setor Alfa para as datas de Abril de 2004, Fevereiro de 2006, Abril e Novembro de 2007 e Agosto de 2008 (FIGURA 19).

Esta área está inserida em um ambiente dinâmico por receber ação das forçantes oceanográficas diretamente. As suas extremidades apresentam comportamentos diferentes em relação a acreção e erosão dos sedimentos, sendo assim subdivida em 3 porções menores denominadas de Alfa A, Alfa B e Alfa C (FIGURA 19; TABELA 6).

Para o levantamento batimétrico de Abril de 2004 (FIGURA 20) a batimetria apresenta forma retilínea em toda a sua extensão. As áreas rasas concentram-se na sua porção central, principalmente nas margens, com as profundas observadas nas extremidades NW e SE do levantamento com média de 15 m de profundidade. Entretanto, no levantamento de Fevereiro de 2006 (FIGURA 21) a máxima profundidade encontrada foi de 15 m. A porção central apresentou algumas áreas rasas em torno de 12 m, comparado com o levantamento anterior de Abril de 2004. As porções SE e NW apresentaram as áreas profundas, variando de 14 m a 16 m de profundidade. Em comparação com o levantamento anterior, foi observada uma tendência do canal a curvatura também na parte central e redução das áreas profundas em toda a extensão do levantamento.

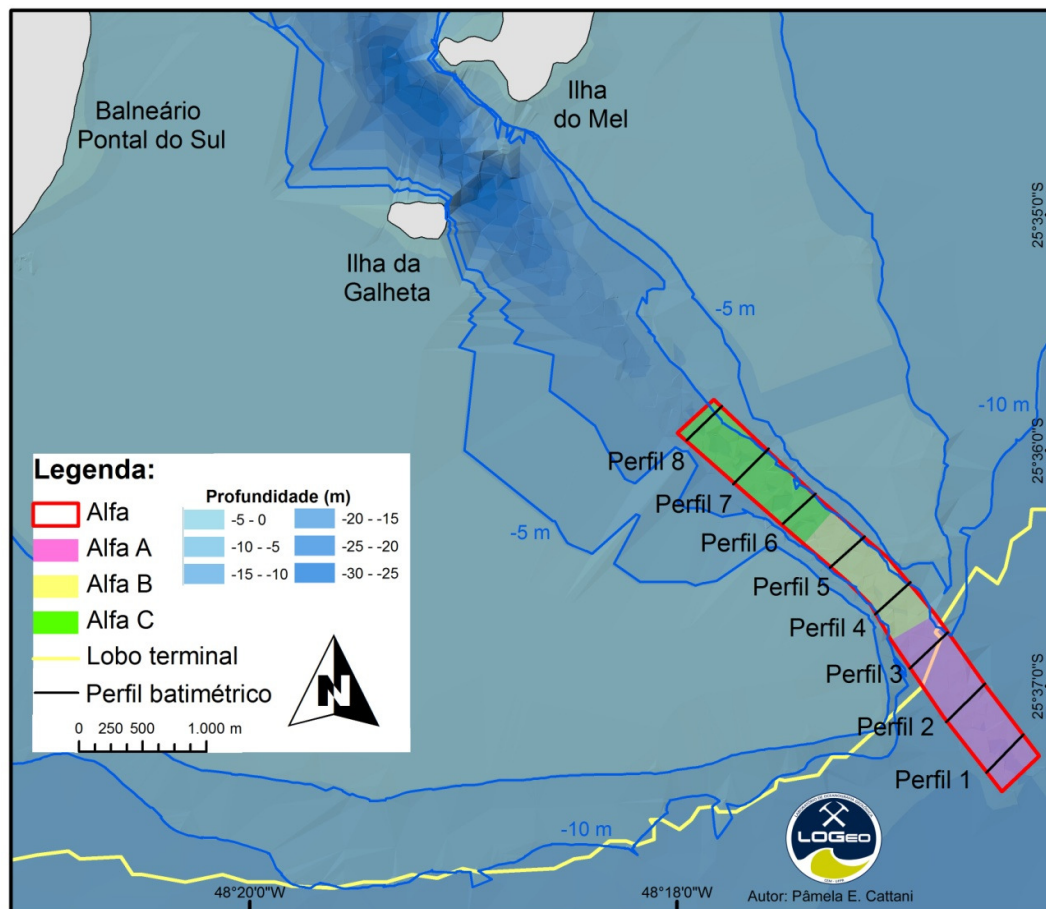


FIGURA 19: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO SETOR ALFA COM OS SEUS RESPECTIVOS PERFIS BATIMÉTRICOS, DESTACANDO COM DIFERENTES CORES AS ÁREAS ONDE FORAM QUANTIFICADOS OS VOLUMES DE ASSOREAMENTO OU EROSÃO.

No ano de 2007 foram realizados dois levantamentos batimétricos (Abril e Novembro). A batimetria de Abril de 2007 possui profundidades máximas de 15 m na porção fora do lobo terminal do delta de maré vazante (Figura 19), e profundidades médias variando de 13 m a 14 m, nesta área também são observadas as maiores larguras de 430 m (FIGURA 22). No levantamento de Novembro de 2007 (FIGURA 23), comparando com o levantamento anterior, Abril de 2007, foi observada uma migração do delta de maré na direção NE, principalmente na porção central da área de estudo. As profundidades máximas variaram em torno de 15 m nas porções SE e NW do mapa batimétrico.

Para o levantamento batimétrico de Agosto de 2008 (FIGURA 24) a margem SW apresentou migração para o quadrante NE, quando comparando com o levantamento anterior, Novembro de 2007. Foi observada a persistência da tendência do canal a curvatura e redução das áreas profundas em toda a extensão da área de estudo, com profundidade média de 14 m (TABELA 7).

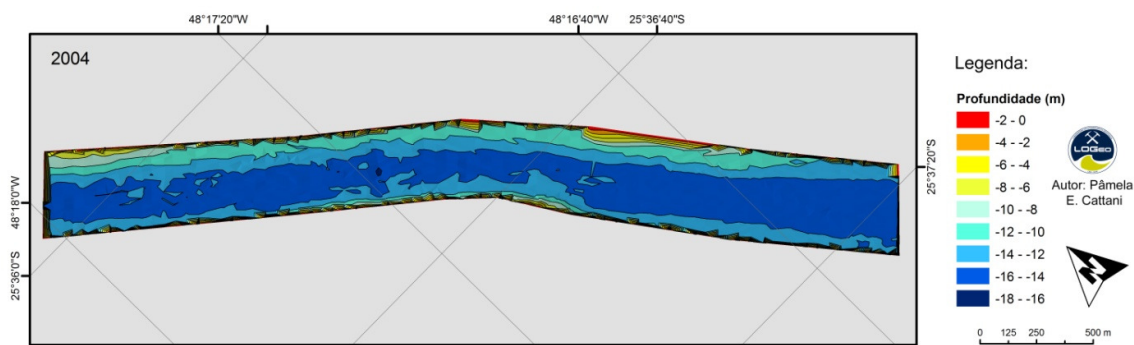


FIGURA 20: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE ABRIL DE 2004, PARA A ÁREA ALFA, INSERIDA AO SETOR DE PLATAFORMA INTERNA. COM FORMA RETILÍNEA EM TODA A SUA EXTENSÃO E PROFUNDIDADES MÉDIAS DE 15 M.

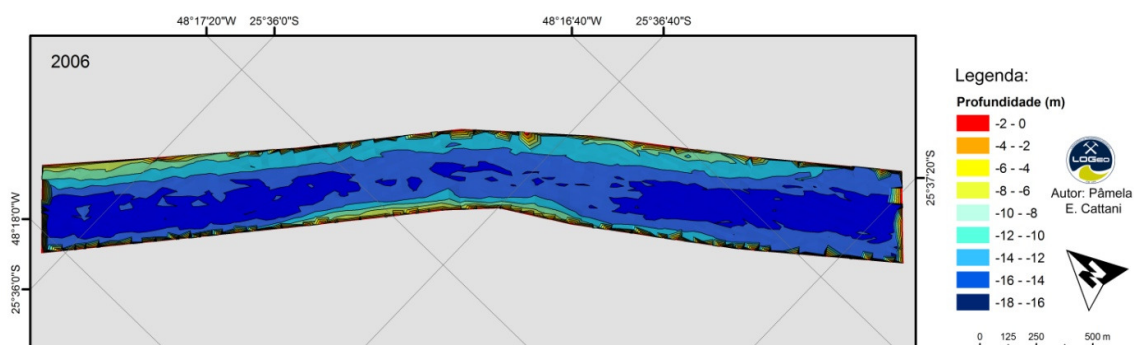


FIGURA 21: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA REALIZADA EM FEVEREIRO DE 2006, PARA A ÁREA ALFA, INSERIDA NO SETOR DE PLATAFORMA INTERNA. ÁREAS PROFUNDAS NAS PORÇÕES NW E SE COM MÉDIA DE 14 M A 16 M DE PROFUNDIDADE.

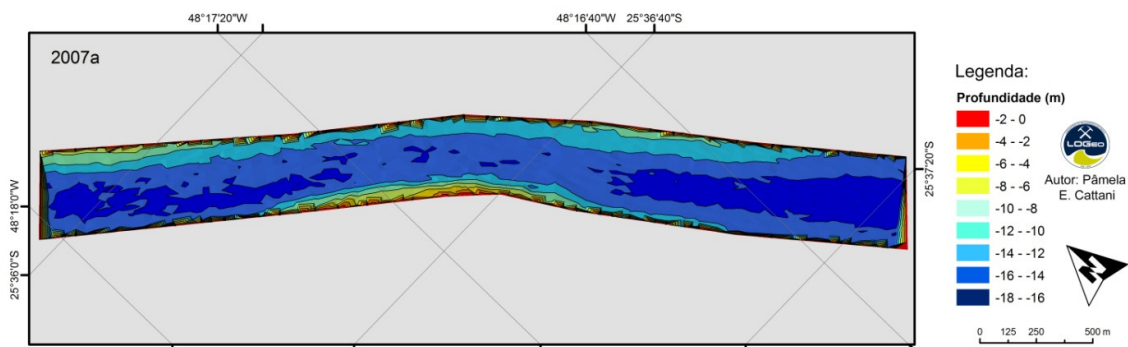


FIGURA 22: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE ABRIL DE 2007, PARA A ÁREA ALFA, INSERIDA NO SETOR DE PLATAFORMA INTERNA. COM PROFUNDIDADES MÉDIAS DE 14 M.

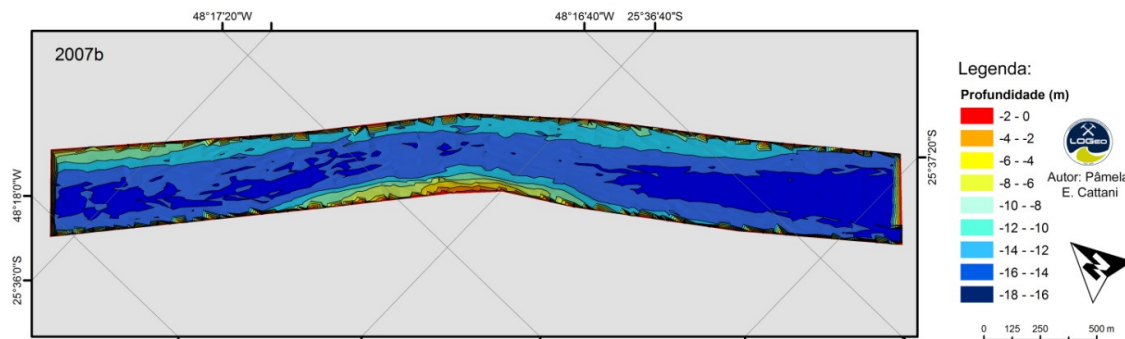


FIGURA 23: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE NOVEMBRO DE 2007, PARA A ÁREA ALFA, INSERIDA NO SETOR DE PLATAFORMA INTERNA. COM AVANÇO DAS ÁREAS RASAS DA MARGEM SW EM DIREÇÃO A NE E FORTE TENDÊNCIA A CURVATURA NA PORÇÃO CENTRAL.

Com a descrição dos MDEs para a área Alfa, foram identificadas variações significativas na morfologia da batimetria para cada levantamento batimétrico. A partir disso, perfis batimétricos foram dispostos a cada 500 m perpendiculares ao levantamento, na direção SW-NE, totalizando oito perfis batimétricos, dos quais quatro apresentaram variações, e serão mostrados a seguir (FIGURA 25).

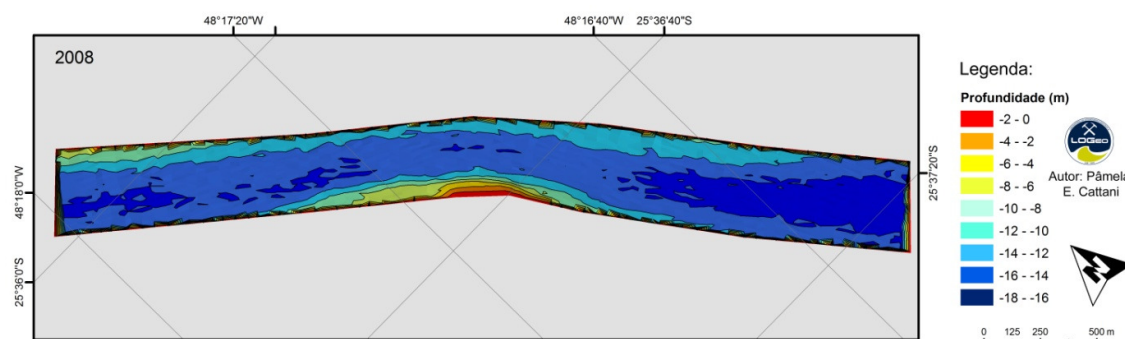


FIGURA 24: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE AGOSTO DE 2008, PARA A ÁREA ALFA, INSERIDA NO SETOR DE PLATAFORMA INTERNA. COM PROFUNDIDADES MÁXIMAS DE 15 M NA PORÇÃO SE E TENDÊNCIA A CURVATURA COM O AVANÇO DA MARGEM SW NA DIREÇÃO DO QUADRANTE NE, PRINCIPALMENTE NA ÁREA CENTRAL DO LEVANTAMENTO.

A área que apresentou as maiores mudanças na morfologia do canal está compreendida entre os Perfis 3 e 6 (FIGURA 19; TABELA 6). No perfil 3 o canal é estável, com profundidade maior de 15 m no levantamento de Abril de 2004 e média de 14 m para os demais anos (FIGURA 25A). A largura máxima observada foi de 410 m para todos os levantamentos. As margens NE e SW apresentaram graus de inclinação elevados, exceto para o levantamento de Abril de 2004, o qual a borda NE possui uma inclinação mais suave comparado com os demais levantamentos.

O perfil 4 (FIGURA 25B) está localizado na área central do levantamento, onde existe uma tendência a curvatura. A largura máxima encontrada foi de 410 m para Novembro de 2007, e largura média de 360 m entre os demais levantamentos. A profundidade máxima foi em torno de 15 m na cava, e média de profundidade próxima as bordas foi de 11 m. A margem SW, neste perfil, apresentou grau de inclinação baixo, enquanto a margem NE o grau de inclinação foi bem elevado.

Neste perfil foi observado um avanço da margem SW em direção ao quadrante NE entre os levantamentos de Abril e Novembro de 2007. O formato do canal ficou delimitado, sendo que a margem NE teve um aumento na sua largura em torno de 50 m (FIGURA 25B; TABELA 6), passando de aproximadamente 360 m para 410 m e a margem SW teve um aprofundamento de 5 m, variando de 7 m para 12 m de profundidade. No ano seguinte, Agosto de 2008, o perfil teve uma mudança significativa na sua morfologia, a margem NE avançou na direção SW em torno de 55 m (410 m para 355 m). Na margem SW foi observado um assoreamento em torno de 6 m, diminuindo a profundidade de 13 m para 6 m.

O perfil 5 (FIGURA 25C) está localizado na parte central dos levantamentos batimétricos e pôde-se notar que nesta área a margem SW avança na direção do quadrante NE. O levantamento que mais apresentou este deslocamento foi o realizado em Agosto de 2008, com variação de 11 m para 5 m (avanço de 4 m) na largura se comparado com Novembro de 2007. A profundidade máxima foi de aproximadamente 14 m e sua largura em torno de 350 m.

No perfil 6 (FIGURA 25D) não foi observado muita variação na morfologia do levantamento, a largura média foi de 350 m e profundidade máxima de 15 m para a batimetria realizada em Abril de 2004. A margem NE apresentou uma inclinação maior enquanto a margem SW o grau de inclinação foi menor.

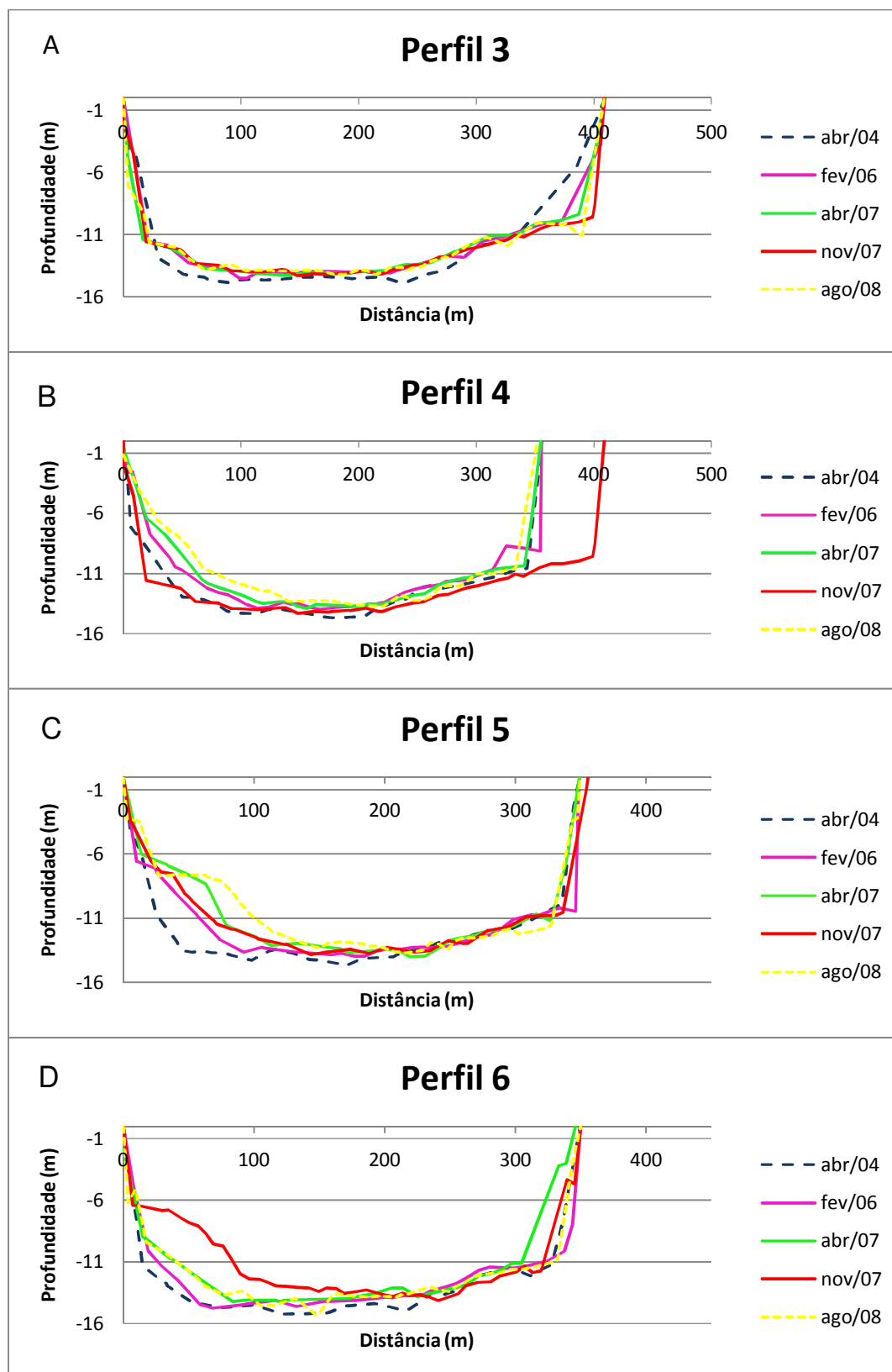


FIGURA 25: REPRESENTAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS (A) PERFIL 3; (B) PERFIL 4; (C) PERFIL 5; E (D) PERFIL 6, PARA OS CINCO LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS LOCALIZADOS NA ÁREA ALFA, PLATAFORMA INTERNA.

Para a determinação dos volumes e das taxas de acreção e/ou erosão foram comparados dados de dois levantamentos batimétricos seqüenciais. Nesta área, da Plataforma Interna rasa o volume médio entre os levantamentos batimétricos foi de 17,3 milhões de m³. O maior volume encontrado foi de aproximadamente 18 milhões de m³ para Agosto de 2004, diminuindo a cada ano até o levantamento de Abril de 2007. Entretanto, para o levantamento de Novembro de 2007 a área do levantamento foi aprofundada, e no ano posterior (Agosto de 2008) novamente assoreada para o menor volume de 17 milhões de m³ (TABELA 5).

TABELA 5: ÁREA 2D E VOLUME DA PORÇÃO DA PLATAFORMA INTERNA DO CEP SOBRE O DELTA DE MARÉ VAZANTE, PARA OS CINCO LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.

Data da batimetria	Área 2D (m ²)	Volume (m ³)
Abril 2004	1.437.328,08	17.991.813,67
Fevereiro 2006	1.437.109,53	17.337.687,57
Abril 2007	1.436.452,76	17.067.650,74
Novembro 2007	1.437.235,50	17.165.007,00
Agosto 2008	1.437.193,66	17.067.542,87

A área Alfa A está localizada sobre a Plataforma interna e fora do lobo terminal do delta de maré vazante, e abrange uma área de 580 m². O maior volume encontrado foi em Abril de 2004 com 7,3 milhões de m³, reduzindo o volume vazio até o levantamento de Abril de 2007 cerca de 260 mil m³. O menor volume encontrado foi de 7,2 mil m³ para Agosto de 2008 (TABELA 6).

Para o setor Alfa B uma área de 380 m² foi observada, e este está compreendido na porção central dos levantamentos batimétricos, sobre o lobo terminal do delta de maré vazante. O volume foi maior para Abril de 2004 e decresceu continuamente até Agosto de 2008, cerca de 530 mil m³ (TABELA 6).

Na área Alfa C que está localizada na parte mais interna do delta de maré vazante, o maior volume foi para Abril de 2004 com 5,8 milhões de m³. O menor volume encontrado foi para o levantamento Agosto de 2008 com 5,5 milhões de m³. Somente entre os levantamentos de Abril e Novembro de 2007, ocorreu um aumento do volume de 37 mil m³ (TABELA 6).

TABELA 6: VOLUME DOS TRÊS SETORES (ALFA A, ALFA B E ALFA C) NA PORÇÃO EXTERNA DA DESEMBOCADURA SUL DO CEP SOBRE O DELTA DE MARÉ VAZANTE, PARA OS CINCO LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.

Datas das batimetrias	Volume Alfa A (m³)	Volume Alfa B (m³)	Volume Alfa C (m³)
Abril 2004	7.376.276,32	4.589.227,62	5.783.019,48
Fevereiro 2006	7.126.518,79	4.292.947,17	5.694.446,51
Abril 2007	7.115.969,03	4.169.154,18	5.543.237,82
Novembro 2007	7.243.314,39	4.128.883,30	5.580.951,53
Agosto 2008	7.225.677,98	4.059.402,13	5.521.991,57

Entre os levantamentos de Abril de 2004 e Fevereiro de 2006 foram encontradas as maiores taxas de assoreamento para os setores Alfa A e B com valor de aproximadamente 30 mil m³. Entre Fevereiro de 2006 e Abril de 2007 a taxa de sedimentação (TABELA 7) aumentou em todos os setores, com valores maiores na área Alfa C. Porém, entre os levantamentos Abril e Novembro de 2007 ocorreu um aumento dos volumes do canal, com exceção da área Alfa B.

TABELA 7: TAXAS DE ASSOREAMENTO PARA OS DOS TRÊS SETORES (ALFA A, ALFA B E ALFA C) NA PORÇÃO DA PLATAFORMA INTERNA DO CEP SOBRE O DELTA DE MARÉ VAZANTE, PARA OS CINCO LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.

Datas das batimetrias	Intervalo (Meses)	Taxa (m³/mês)			
		Alfa A	Alfa B	Alfa C	Alfa Total
Abr 2004 a Fev 2006	22	11.352,62	13.467,29	4.026,04	29.733,00
Fev 2006 a Abr 2007	14	753,55	8.842,36	10.800,62	19.288,35
Abr 2007 a Nov 2007	7	-18.192,19	5.752,98	-5.387,67	-13.908,04
Nov 2007 a Ago 2008	9	1.959,60	7.720,13	6.551,11	10.829,35

6.2. DESEMBOCADURA DO ESTUÁRIO

O setor localizado na área interna da desembocadura sul do CEP até o início das bacias de evolução do Porto de Paranaguá é chamado de Bravo e esta inserido em um ambiente de desembocadura do estuário de Paranaguá. Para esta região foram analisadas seis áreas distintas, localizadas ao longo de toda a sua extensão, sendo denominadas de Bravo A, Bravo B, Bravo C, Bravo D, Bravo E e Bravo F (FIGURA 26).

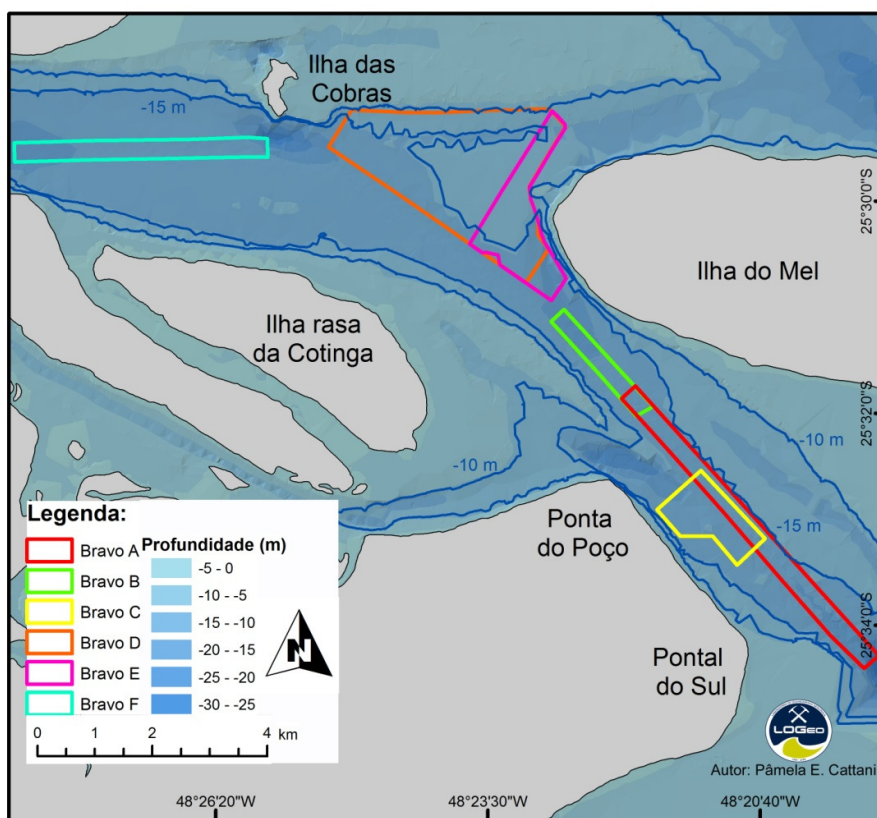


FIGURA 26: MAPA BATIMÉTRICO E DE LOCALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS CORRESPONDENTES AO SETOR DE DESEMBOCADURA DO ESTUÁRIO.

As áreas Bravo A e B estão compreendidas entre o Balneário Pontal do Sul e a Ilha do Mel, situadas no canal principal de vazante do delta de maré vazante. A área Bravo C está localizada próxima a Ponta do Poço no Balneário de Pontal do Sul. As áreas Bravo D e E estão compreendidas entre a Ponta Oeste da Ilha do Mel e a Ilha das Cobras. Nesta área, também é a região onde se encontram os dois eixos do CEP, a Baía das Laranjeiras (eixo N-S) e Baía de Paranaguá (eixo E-W). E a área Bravo F, está localizada entre a Ilha rasa da Cotinga e a Ilha das Cobras, e compreende o último trecho da área Bravo.

Para o levantamento correspondente a área Bravo A (FIGURA 27), em ambas as batimetrias de Fevereiro de 2001 e Dezembro de 2004, as maiores profundidades estão localizadas na extremidade próxima ao estrangulamento da Ilha do Mel e Ilha da Galheta, com máximo de 32 m de profundidade. No levantamento de Fevereiro de 2001, na porção entre o canal do DNOS e a Ilha do Mel, foram identificadas rugosidades na batimetria, o que possivelmente podem ser formas de fundo (ondas de areia e dunas sub aquosas). Um perfil batimétrico realizado sobre essa rugosidade mostra valores de comprimentos de ondas das formas de fundo em

torno de 70 m com alturas variáveis entre 1,1 m na menor e 2 m na maior (FIGURA 28).

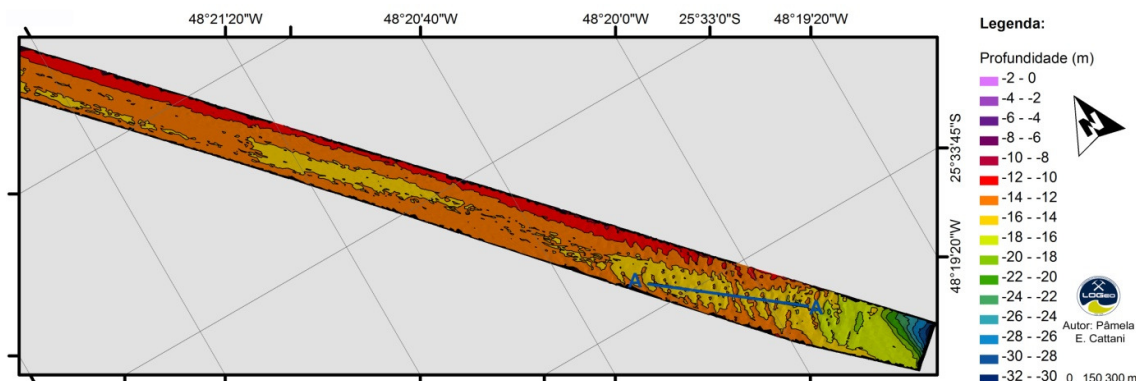


FIGURA 27: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE FEVEREIRO DE 2001, PARA A ÁREA BRAVO A, INSERIDA NO SETOR DE DESEMBOCADURA DO ESTUÁRIO. EM AZUL PERFIL BATIMÉTRICO REALIZADO SOBRE AS RUGOSIDADES DA BATIMETRIA.

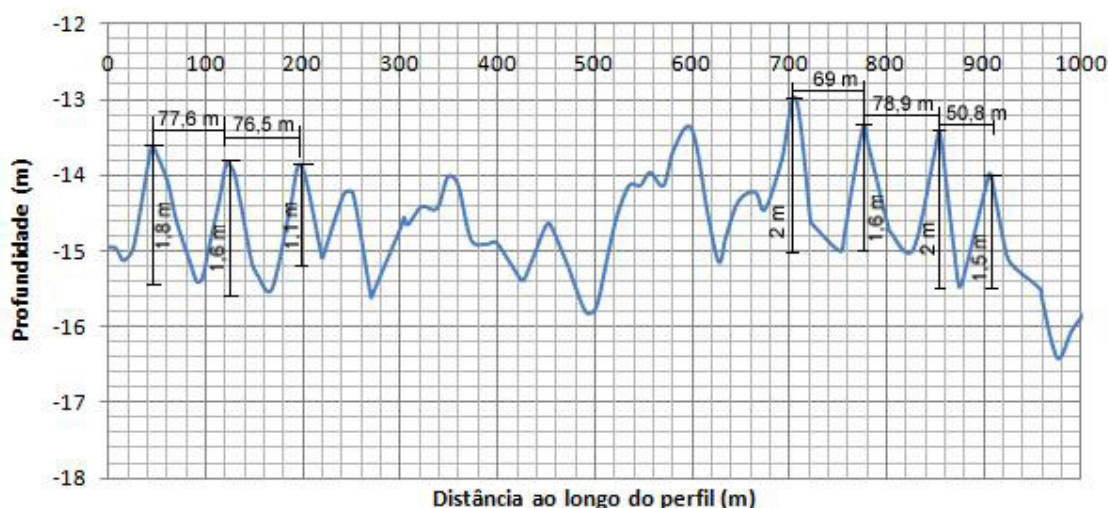


FIGURA 28: PERFIL BATIMÉTRICO MOSTRANDO AS DIMENSÕES DAS FORMAS DE FUNDO OBSERVADAS NA ÁREA BRAVO A PARA O ANO DE 2001.

Para a área Bravo B foi observado um aprofundamento da batimetria na direção da extremidade NW (FIGURA 29) nos dois levantamentos batimétricos realizados nesta área (Fevereiro de 2001 e Novembro de 2005). Sendo que as maiores profundidades estão em torno de 17 m a 19 m na margem NW para esta mesma extremidade. Entretanto, nesta margem na extremidade SE foram observadas as menores profundidades em torno de 10 m, seguindo a mesma tendência do levantamento da área Bravo A.

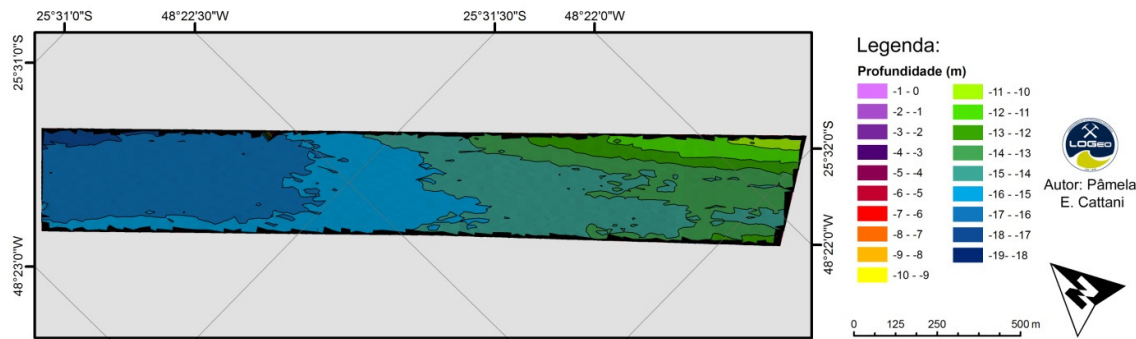


FIGURA 29: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE FEVEREIRO DE 2001, PARA A ÁREA BRAVO B, INSERIDA NO SETOR DE DESEMBOLCADURA DO ESTUÁRIO.

Na área Bravo C, para os levantamentos batimétricos de Junho 2004 e Maio de 2007, as maiores profundidades se encontram na extremidade SW, com média de 18 m (FIGURA 30). Nesta batimetria foi observada uma tendência de redução da profundidade em direção a extremidade SE. Neste levantamento também pode ser observado uma rugosidade na batimetria na porção SW, o que pode ser formas de fundo.

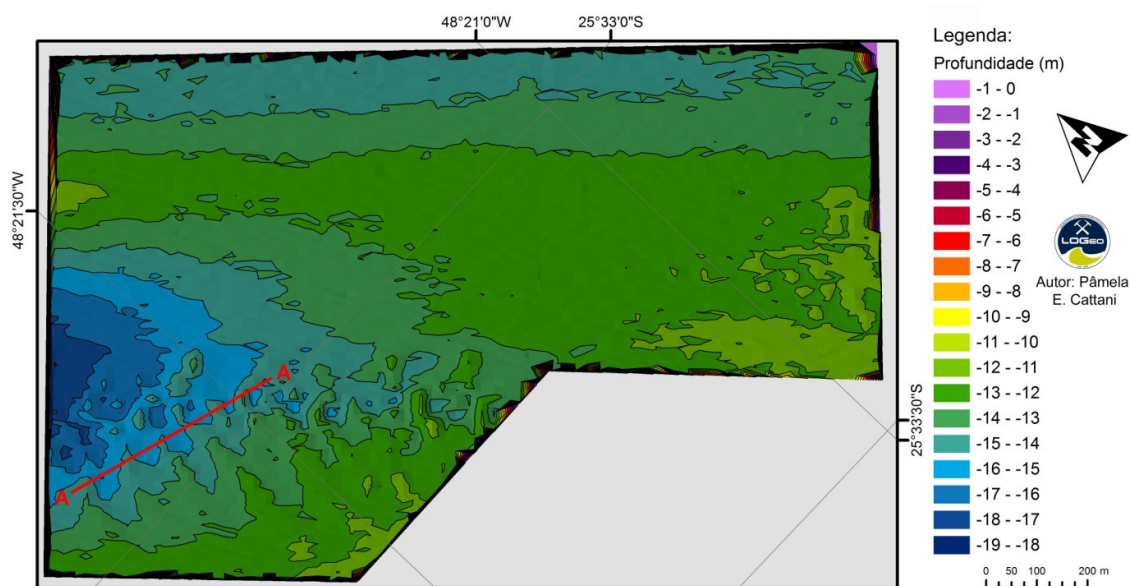


FIGURA 30: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE MAIO DE 2007, PARA A ÁREA BRAVO C, NO SETOR DESEMBOLCADURA DE ESTUÁRIO. EM VERMELHO PERFIL BATIMÉTRICO SOBRE A RUGOSIDADE NA BATIMETRIA.

As formas de fundo observadas no levantamento batimétrico de Maio de 2007, na área Bravo C, apresentaram comprimentos de onda variáveis entre 75,6 m para o maior e 34,7 m para o menor. A altura média das ondas foi em torno de 0,9 m (FIGURA 31).

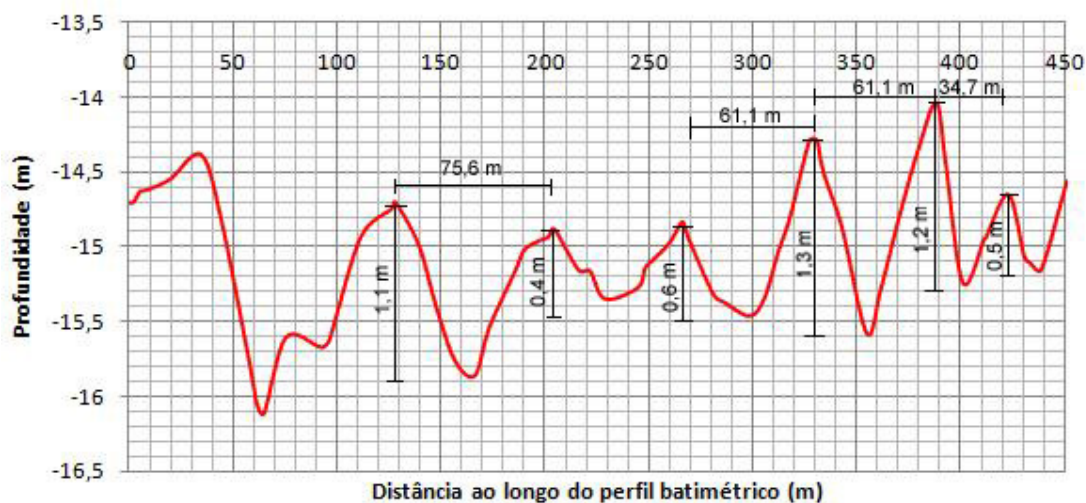


FIGURA 31: PERFIL BATIMÉTRICO MOSTRANDO AS DIMENSÕES DAS FORMAS DE FUNDO OBSERVADAS NA ÁREA BRAVO C PARA O ANO DE 2007.

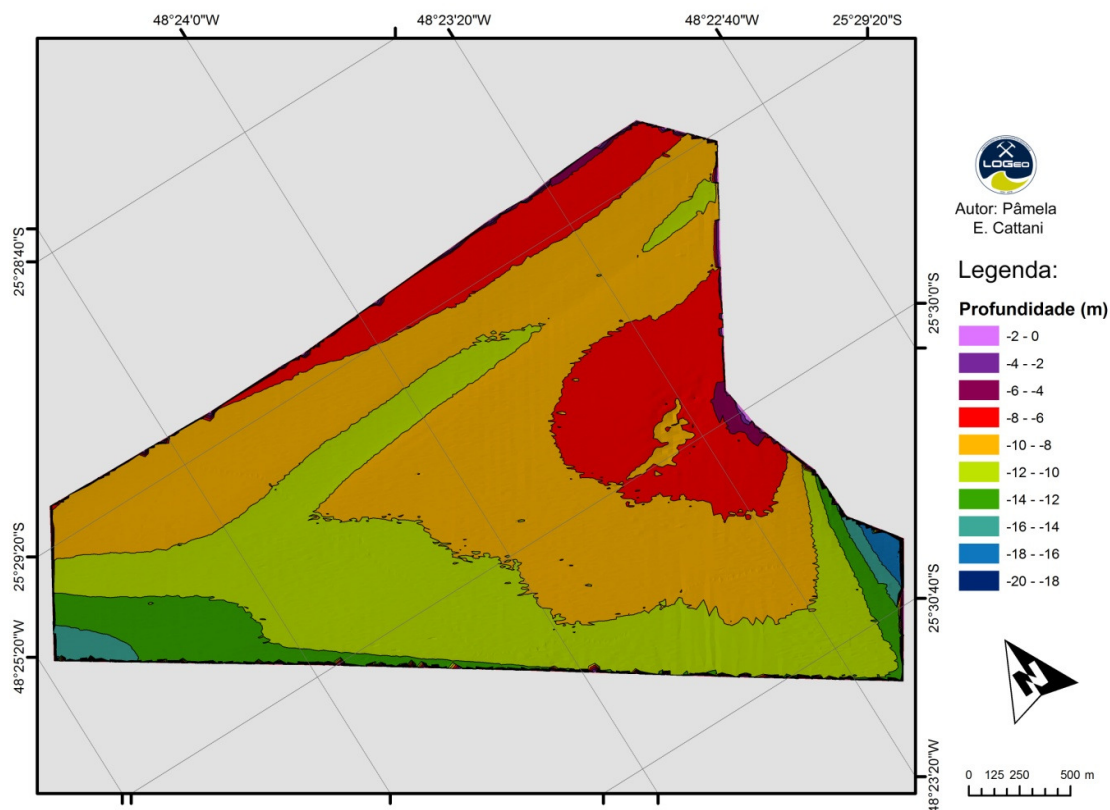


FIGURA 32: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA REALIZADA EM NOVEMBRO DE 2003, PARA A ÁREA BRAVO D, ENTRE A ILHA DAS COBRAS E A ILHA DO MEL, NO ENCONTRO ENTRE OS DOIS EIXOS DO CEP.

Na área Bravo D, dois levantamentos batimétricos foram realizados no mesmo ano, Novembro e Dezembro de 2003 (FIGURA 32), a média das maiores profundidades observadas foi de 19 m na porção SE do levantamento, próximo a

Ponta Oeste da Ilha do Mel. As menores profundidades ficam em torno de 4 m na porção central do levantamento batimétrico.

Para os levantamentos batimétricos de Dezembro de 2003 e Novembro de 2008 (FIGURA 33), na área Bravo E, foi observada uma área rasa na porção NW do mapa batimétrico, com profundidades médias de 6 m. Na porção SE, próximo a Ponta Oeste da Ilha do Mel, se encontram as maiores profundidades com média de 20 m. Nesta área foi observada também uma tendência de redução da profundidade em direção do quadrante NW, para os dois levantamentos.

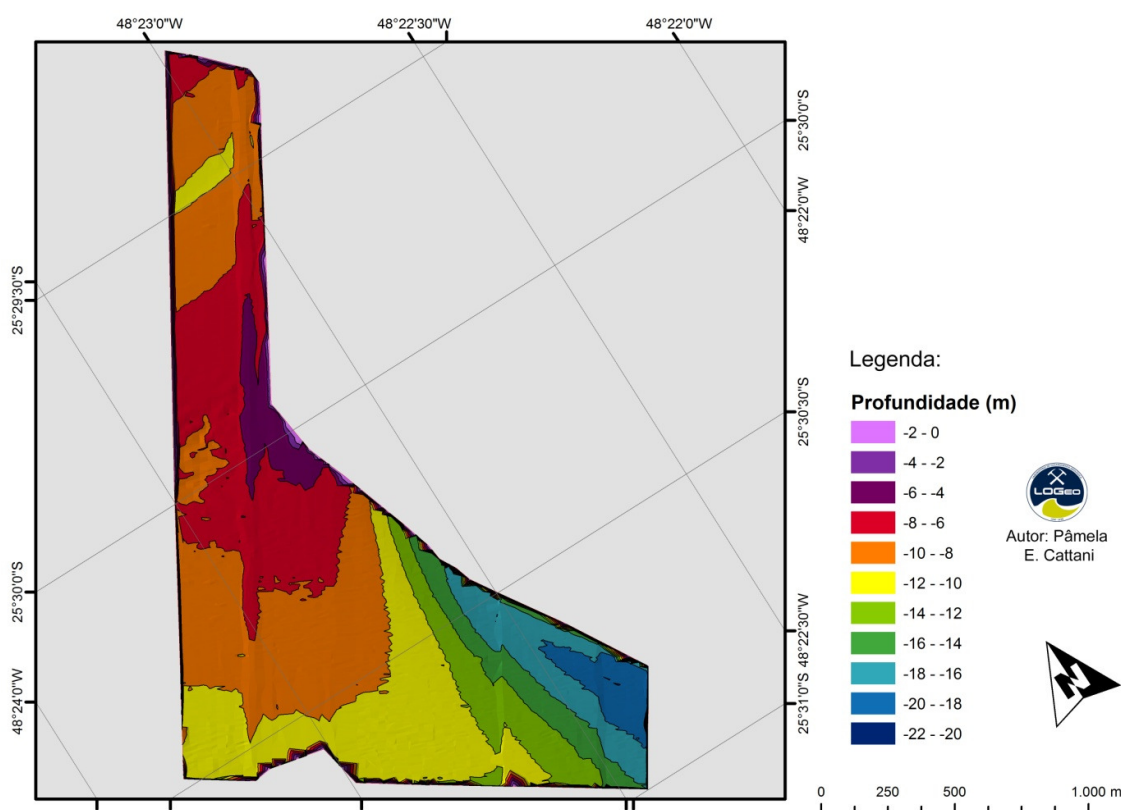


FIGURA 33: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA REALIZADA EM NOVEMBRO DE 2008, PARA A ÁREA BRAVO D, ENTRE A ILHA DAS COBRAS E A ILHA DO MEL, NO ENCONTRO ENTRE OS DOIS EIXOS DO CEP.

Nos levantamentos de Dezembro de 2004 (FIGURA 34) e Fevereiro de 2006 (FIGURA 35), as maiores profundidades de 29 m estão localizadas na extremidade E. As áreas mais rasas estão localizadas na porção central do mapa batimétrico com média de 12 m, com uma cava mais profunda de 14 m de profundidade. Na extremidade W é observado um rebaixamento da batimetria da porção central em

direção a W. Quando comparado os dois levantamentos é possível observar um assoreamento da cava do canal na porção central.

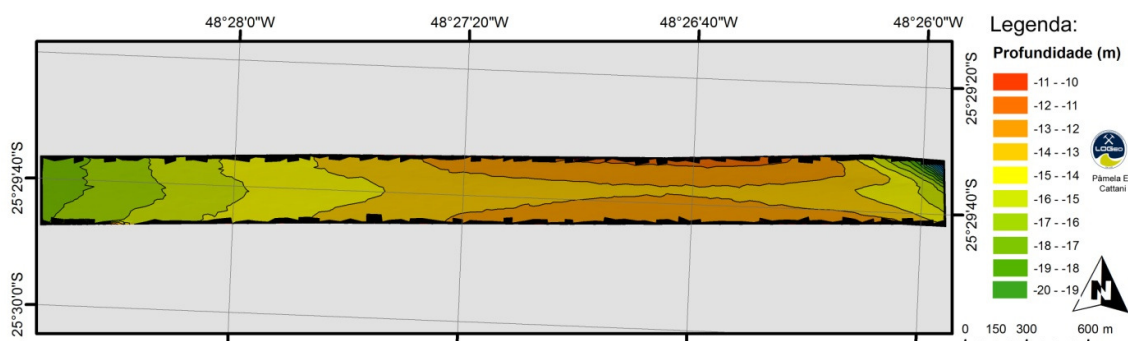


FIGURA 34: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE DEZEMBRO DE 2004 PARA A ÁREA BRAVO F, LOCALIZADA PRÓXIMA A ILHA RASA DA COTINGA.

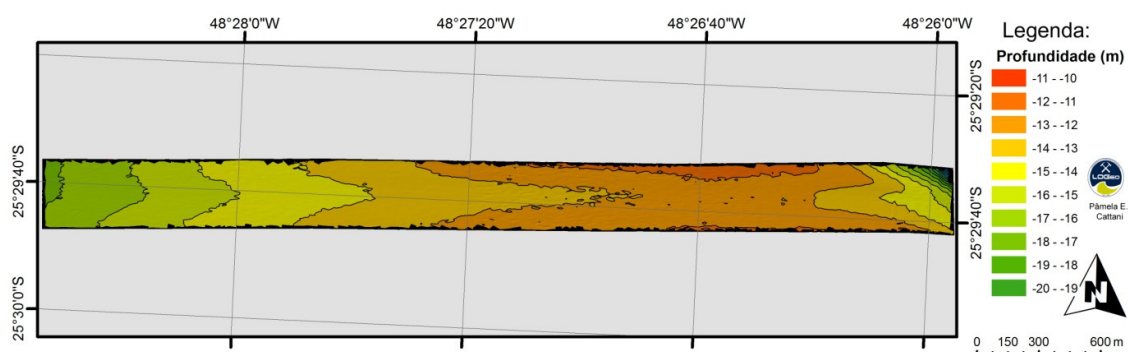


FIGURA 35: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE DEZEMBRO DE 2004 PARA A ÁREA BRAVO F, LOCALIZADA PRÓXIMA A ILHA RASA DA COTINGA.

Para o setor Bravo o volume total estudado foi de 165 milhões de m^3 , em uma área de 15 km^2 , somando o volume médio de todas as áreas em que este setor foi dividido (TABELA 8). Na área Bravo A o volume diminuiu do ano de 2001 a 2004 em 33,7 mil m^3 de sedimento. Esta redução da cava do canal também foi observada para as áreas Bravo B (610 mil m^3) e Bravo D (550 mil m^3).

Nas demais áreas, foi observado um aprofundamento da cava do canal. Entre os anos de 2004 e 2007, na área Bravo C, o volume de sedimento retirado foi de 150,7 m^3 . Para as área Bravo E e Bravo F, a remoção de sedimento na cava do canal foi de 290 mil m^3 e 151 mil m^3 , respectivamente.

A maior taxa de assoreamento encontrada no Setor Bravo, foi para a área Bravo D com 546 mil $m^3/mês$ (Tabela 9). Além disso, apesar do valor alto, essa taxa corresponde a levantamentos realizados no intervalo de um mês, aumentando o seu grau de confiabilidade. As outras taxas de sedimentação foram encontradas para as áreas Bravo A e Bravo B com 732 $m^3/mês$ e 13,5 $m^3/mês$, respectivamente.

TABELA 8: ÁREA 2D, ÁREA 3D E VOLUME DAS ÁREA BRAVO A, B, C, D, E E F, PARA SEUS RESPECTIVOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.

Datas das Batimetrias	Área 2D (m²)	Área 3D (m²)	Volume (m³)
Bravo A 2001	2.224.489,77	2.321.864,27	29.928.927,88
Bravo A 2004	2.223.672,24	2.305.840,66	29.895.249,13
Bravo B 2001	709.746,60	758.998,22	10.246.326,03
Bravo B 2005	709.127,73	745.708,19	9.636.377,32
Bravo C 2004	1.378.373,70	1.408.007,55	17.970.955,53
Bravo C 2007	1.378.502,90	1.417.263,64	18.121.678,46
Bravo D 2003a	6.947.326,82	7.009.567,43	65.704.749,17
Bravo D 2003b	6.947.327,73	7.009.704,52	65.158.514,69
Bravo E 2003	2.139.503,33	2.178.549,91	21.056.577,15
Bravo E 2008	2.139.652,47	2.177.814,87	21.346.580,28
Bravo F 2004	1.473.347,71	1.538.911,54	19.561.962,34
Bravo F 2006	1.473.349,66	1.557.781,68	19.713.466,17

TABELA 9: TAXAS DE ASSOREAMENTO PARA OS DOS SEIS SETORES (BRAVO A, B, C, D, E E F) NA ÁREA BRAVO PARA OS RESPECTIVOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.

Datas das Batimetrias	Intervalo (meses)	Volume (m³)	Taxa (m³/mês)
Bravo A (Fev 2001/ Dez 2004)	46	33.678,75	732,15
Bravo B (Fev 2001/Nov 2005)	45	609.948,71	13.554,42
Bravo C (Jun 2004/Mai 2007)	35	-150.722,93	-4.306,37
Bravo D (Nov 2003/Dez 2003)	1	546.234,48	546.234,48
Bravo E (Dez 2003/Nov 2008)	59	-290.003,13	-4.915,31
Bravo F (Dez 2004/ Fev 2006)	14	-151.503,83	-10.821,70

As áreas Bravo C e Bravo E apresentaram uma taxa de erosão de 4,3 m³/mês e 4,9 m³/mês, respectivamente. Estes setores não estão inseridos no canal principal de navegação e sim nas regiões adjacentes, por isso esta remoção de sedimento não se deve a uma operação de dragagem, mas sim da dinâmica natural da área. Entretanto, a área Bravo F corresponde ao canal navegável, e essa remoção de sedimento, entre os anos de 2004 e 2006, pode estar associada a uma operação de dragagem no canal.

6.3. ZONA DE MÁXIMA TURBIDEZ (ZMT)

O ambiente estuarino em que se localiza o setor de ZMT do CEP está compreendido entre a entrada da bacia de evolução do Porto de Paranaguá e a Ilha do Teixeira no interior do estuário (FIGURA 13). Os setores do canal inseridos neste ambiente são toda a extensão do setor Charlie e metade do setor Delta. Estes setores foram divididos por áreas que abrangessem os levantamentos batimétricos, e estas áreas foram denominadas de: Charlie A, Charlie B, Charlie C, Charlie D, Charlie E, Charlie F, Delta A, Delta B, Delta C, Delta D e Delta E (FIGURA 36).

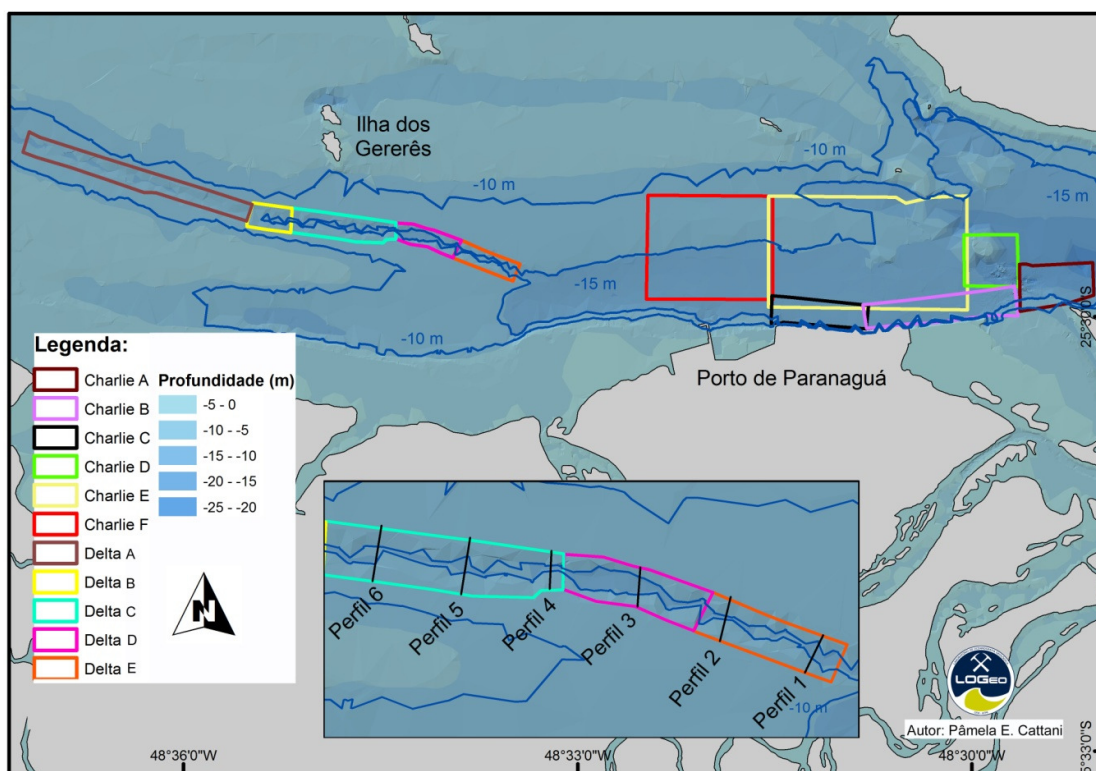


FIGURA 36: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS E PERFIS BATIMÉTRICOS INSERIDOS NO SETOR DE ZONA DE MÁXIMA TURBIDEZ DO CEP, CORRESPONDENTE AOS SETORES DO CANAL CHARLIE E DELTA.

Para a área Charlie c as maiores profundidades estão localizadas na porção NE com valores de 30 m de profundidade (FIGURA 37). Na porção SW do mapa batimétrico observam-se as áreas rasas com 5 m de profundidade para os levantamentos de Setembro de 2005 e Outubro de 2008. Pode-se constatar uma tendência de aprofundamento da batimetria, em direção ao quadrante N e NE.

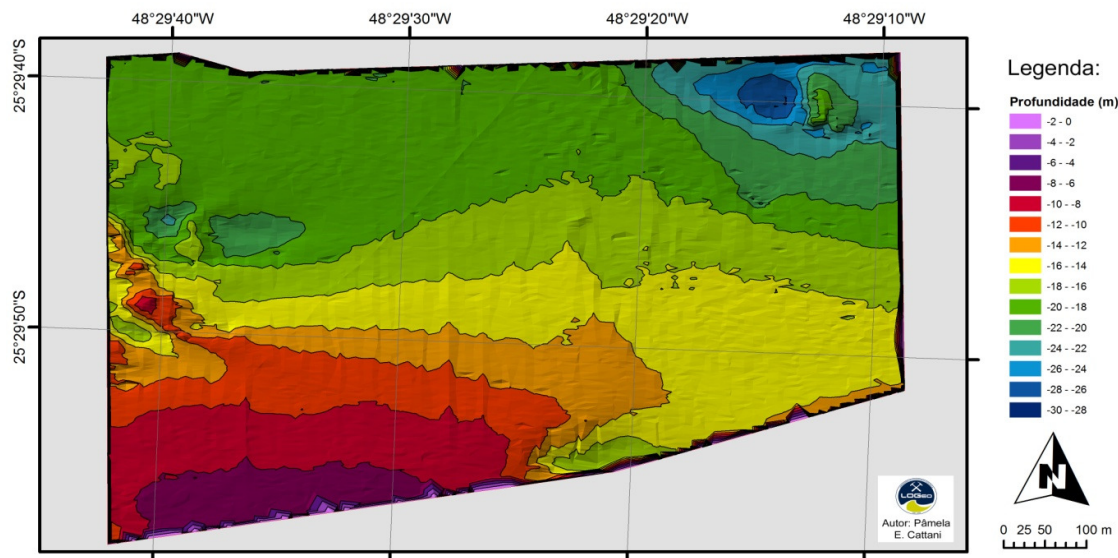


FIGURA 37: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE OUTUBRO DE 2008, PARA A ÁREA CHARLIE A, INSERIDA NO SETOR ESTUARINO COM INFLUÊNCIA DA ZMT.

A área Charlie B está compreendida na porção E do cais do Porto de Paranaguá. As profundidades médias variam em torno de 11 m a 14 m para os três levantamentos batimétricos realizados nesta área, Novembro de 2006, Junho de 2007 e Abril de 2008. As áreas com maior profundidade estão localizadas na parte central das batimetrias, com profundidade de 15 m, para todos os três anos. Para Novembro de 2006 foi observado uma profundidade máxima de 17 m na extremidade N do mapa batimétrico (FIGURA 38). As áreas rasas se encontram a SW e SE com valores mínimos de 10 m de profundidade.

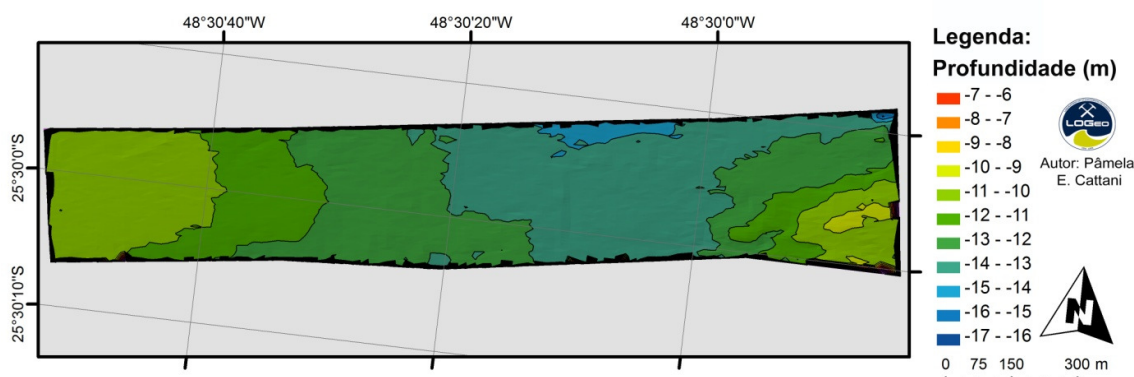


FIGURA 38: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE ABRIL DE 2008, PARA A ÁREA CHARLIE B, INSERIDA NO SETOR ESTUARINO COM INFLUÊNCIA DA ZMT.

A área Charlie C, esta compreendida na porção W do cais do Porto de Paranaguá. Para os levantamentos batimétrico correspondente aos anos de 2006, 2007 e 2008, a média das profundidades está em torno de 12 m a 13 m. As profundidades máximas se localizam na extremidade SW com valores de 15 m de profundidade. As áreas rasas foram observadas na porção E com média de 10 m de profundidade (FIGURA 39 E 40). Entre Outubro de 2006 e Abril de 2008 foi observada uma redução das áreas profundas, principalmente na porção W, para o levantamento batimétrico (FIGURA 40).

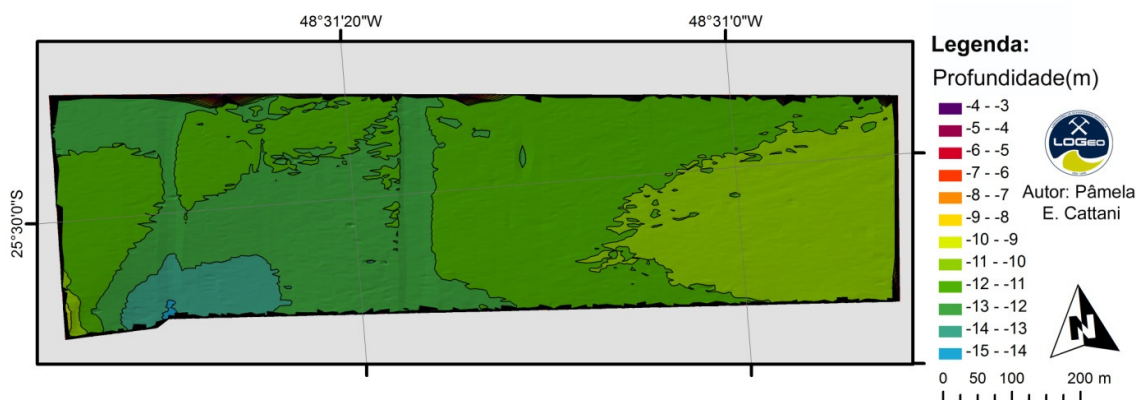


FIGURA 39: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE OUTUBRO DE 2006, PARA A ÁREA CHARLIE C LOCALIZADA NO CAIS W DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

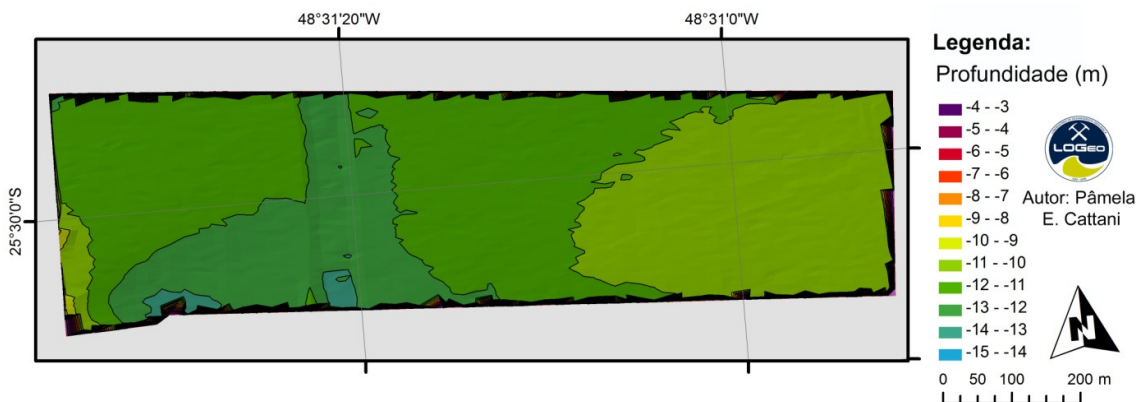


FIGURA 40: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE ABRIL DE 2008, PARA A ÁREA CHARLIE C LOCALIZADA NO CAIS W DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

A área Charlie D, está compreendida na porção central do estuário e sobre uma formação rochosa da região. Para a descrição dos resultados esta área foi dividida em duas porções pelo posicionamento dos conjuntos de rochas (NW e SE) Para os levantamentos batimétricos de Julho de 1999, Outubro de 2003 e Julho de 2007, as maiores profundidades foram observadas próximas a face SW das rochas

do conjunto NW, com valores de até 24 m (FIGURA 41). Sendo que as menores profundidades estão localizadas sobre este mesmo conjunto de rocha com profundidade média de 5 m. Na porção SW do levantamento batimétrico foi observada uma área mais rasa com profundidade de 12 m e a porção NE apresenta uma grande extensão com profundidade média de 17 m. Poucas foram as variações visíveis através dos mapas batimétricos entre os três anos em que foram realizados os levantamentos nesta área.

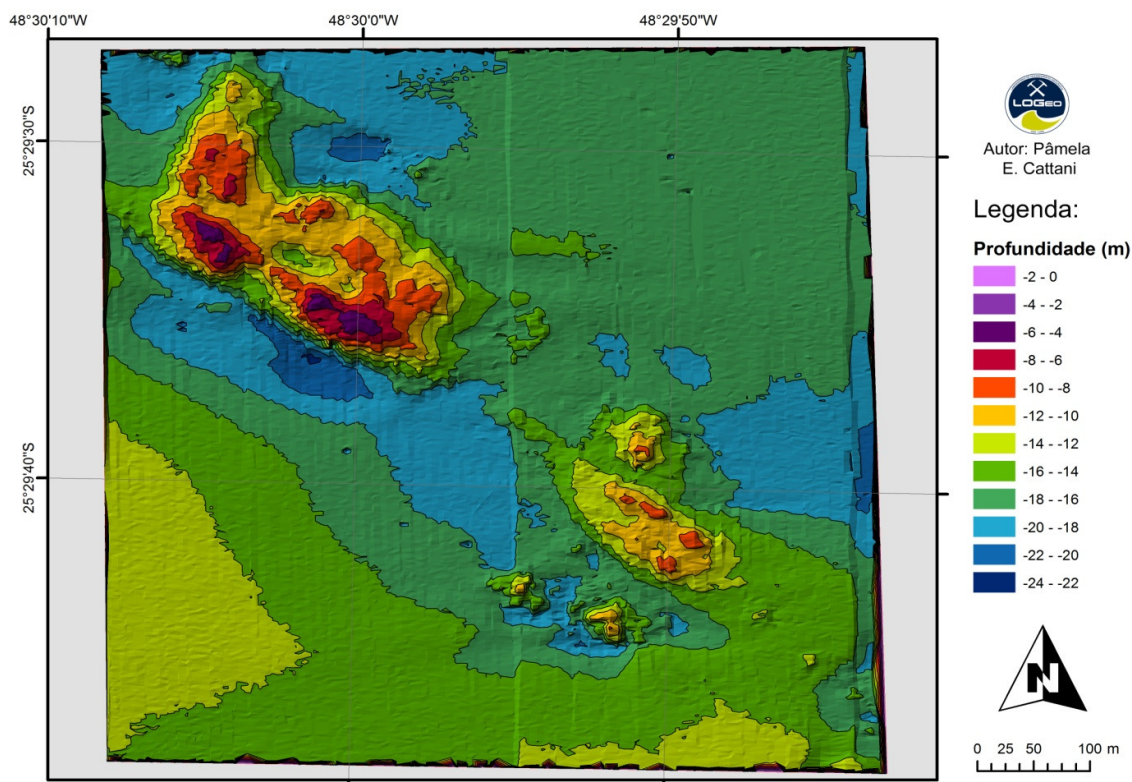


FIGURA 41: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DO ANO DE 1999, PARA A ÁREA CHARLIE D LOCALIZADA SOBRE AS ROCHAS DA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR ESTUARINO ZMT.

Para os levantamentos batimétricos de Setembro de 2003, Outubro de 2005 e Julho de 2007, na área Charlie E, as maiores profundidades observadas foram de 22 m na porção NE da batimetria. A porção S do mapa batimétrico apresenta profundidade média de 11 m. As áreas rasas encontram-se localizadas na extremidade NW do levantamento com mínimo de 7 m de profundidade. Foi observada uma tendência de rebaixamento da batimetria em grau de declividade elevado na porção N, enquanto na porção central este rebaixamento foi suave (FIGURA 42).

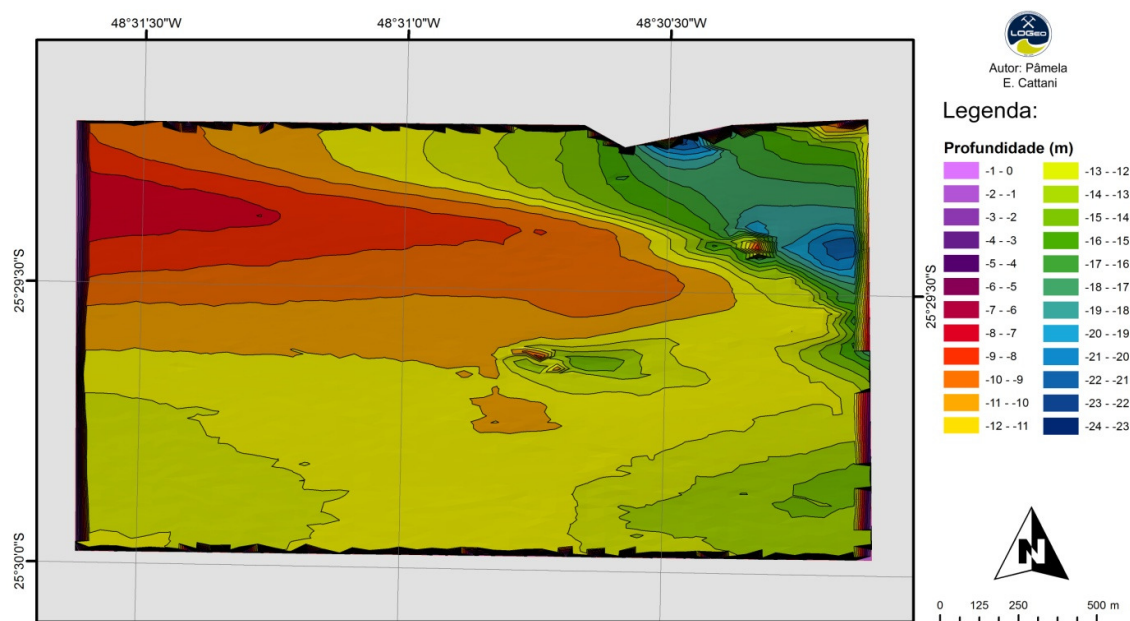


FIGURA 42: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE SETEMBRO DE 2003, PARA A ÁREA CHARLIE E LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

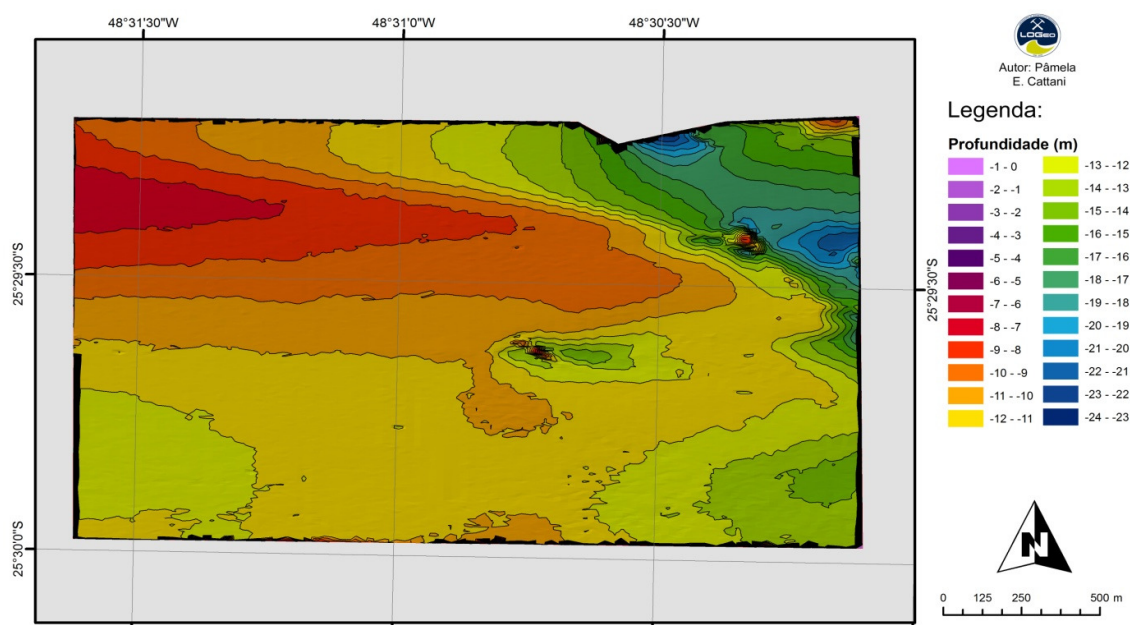


FIGURA 43: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE OUTUBRO DE 2005, PARA A ÁREA CHARLIE E LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

Comparando-se os três levantamentos em datas distintas para a mesma área, foi possível observar uma tendência ao assoreamento na porção S da área (FIGURA 42, 43 E 43), com o avanço da isóbata de 11 m sobre de 12 m em várias porções do levantamento batimétrico.

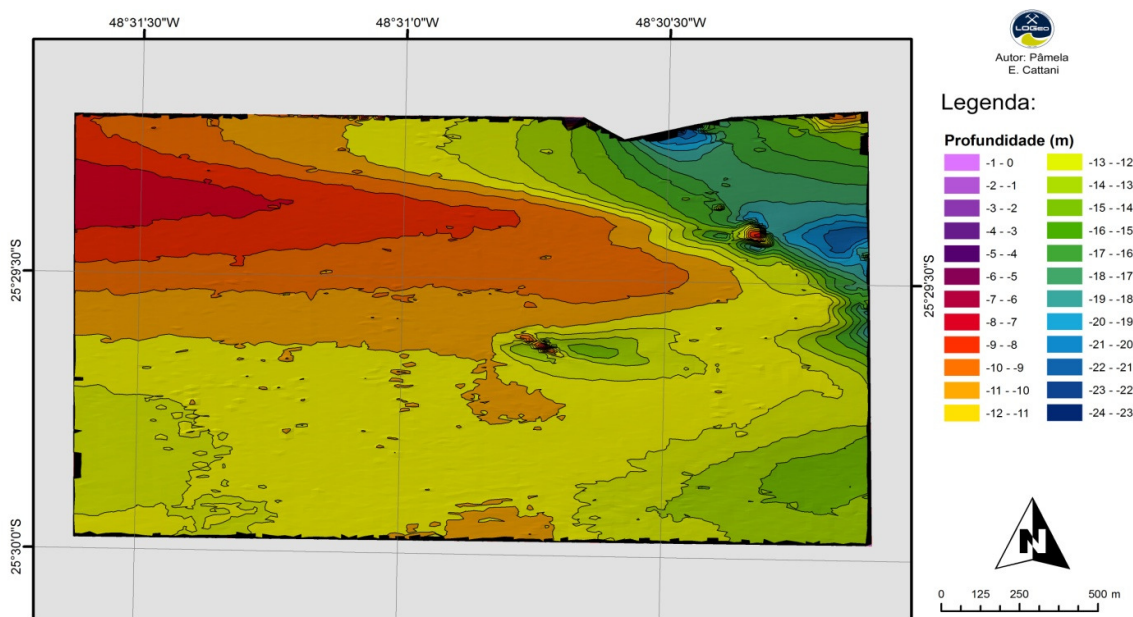


FIGURA 44: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE A BATIMETRIA DE JULHO DE 2007, PARA A ÁREA CHARLIE E LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

A área Charlie F esta localizada na parte W do setor da ZMT da Baía de Paranaguá e compreende a bacia de evolução e algumas áreas de fundeio do Porto de Paranaguá (FIGURA 35). As maiores profundidades foram observadas na porção SW com valores máximos de 15 m para ambos os levantamentos batimétricos (Setembro de 2003 e Maio de 2004). As menores profundidades estão localizadas na porção NW com mínimos de 7 m de profundidade (FIGURA 45).

Na área Delta A, é o início do canal de acesso aos Portos de Antonina (FIGURA 36). Para o levantamento batimétrico correspondente ao ano de 2003 (FIGURA 45), as maiores profundidades observadas foram de 11 m na extremidade SE. As margens do canal apresentam as menores profundidades em torno de 6 m e foi observado um declive da batimetria na direção do quadrante SE. No ano de 2004 e 2006 (FIGURA 47), as maiores profundidades foram observadas na porção SE do mapa batimétrico, com valores médios de 10 m. Comparando-se com o levantamento anterior, observa-se um assoreamento na extremidade SE e na porção central, reduzindo a profundidade em torno de 1 m, identificada através dos perfis batimétricos (FIGURA 55).

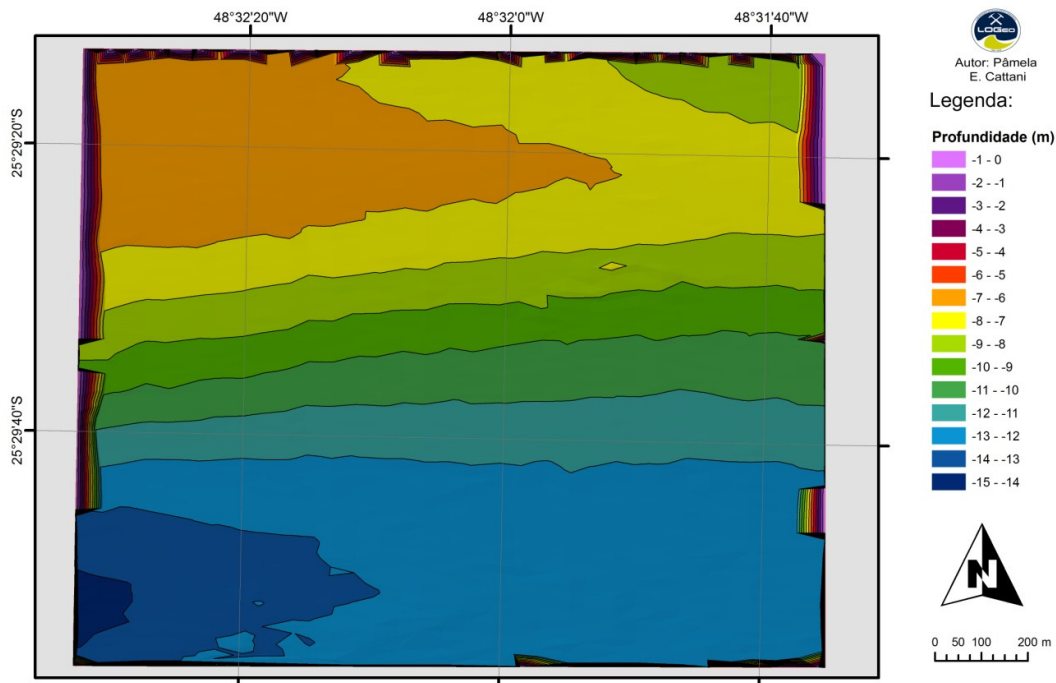


FIGURA 45: MAPA BATIMETRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2004, PARA A AREA CHARLIE F LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE PARANAGUÁ, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

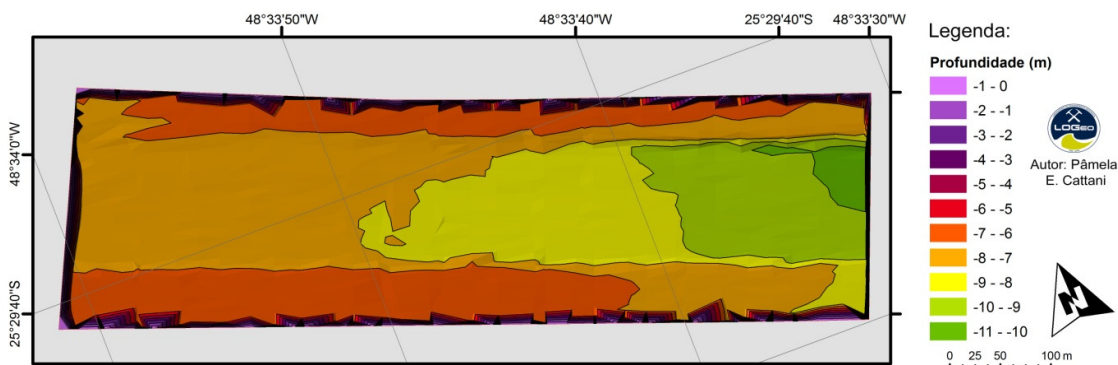


FIGURA 46: MAPA BATIMETRICO CORRESPONDENTE A MAIO DE 2003, PARA A AREA DELTA A LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

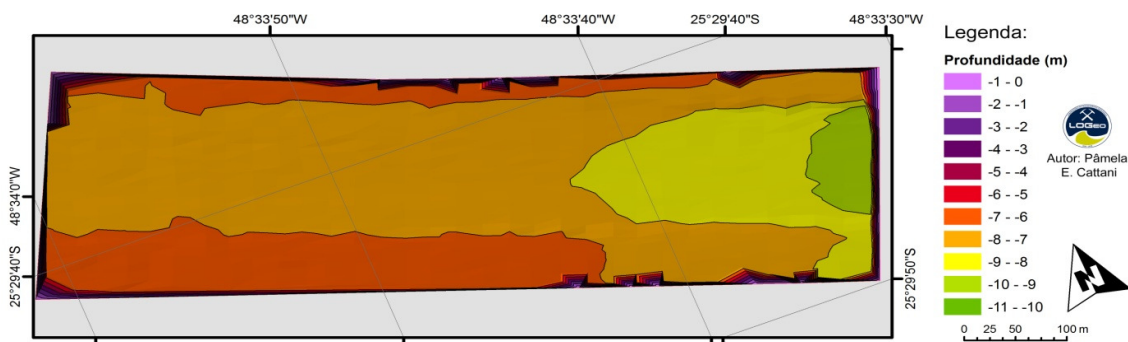


FIGURA 47: MAPA BATIMETRICO CORRESPONDENTE A FEVEREIRO DE 2006, PARA A AREA DELTA A LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

Na área Delta B corresponde à primeira curva que o canal apresenta, esta curvatura está orientada para o quadrante NE (FIGURA 36). As maiores profundidades foram observadas próximas a margem SW com valores de 9 m de profundidade. Para o levantamento de 2003, a profundidade média observada na área foi de 8 m (FIGURA 48) e as margens apresentam as menores profundidades de 7 m. No ano de 2004, quando comparado com o levantamento anterior, é possível identificar um assoreamento em toda a extensão do levantamento e pode-se observar uma migração do eixo do canal na direção E-W, a mesma tendência se observa para o ano de 2006 (FIGURA 49).

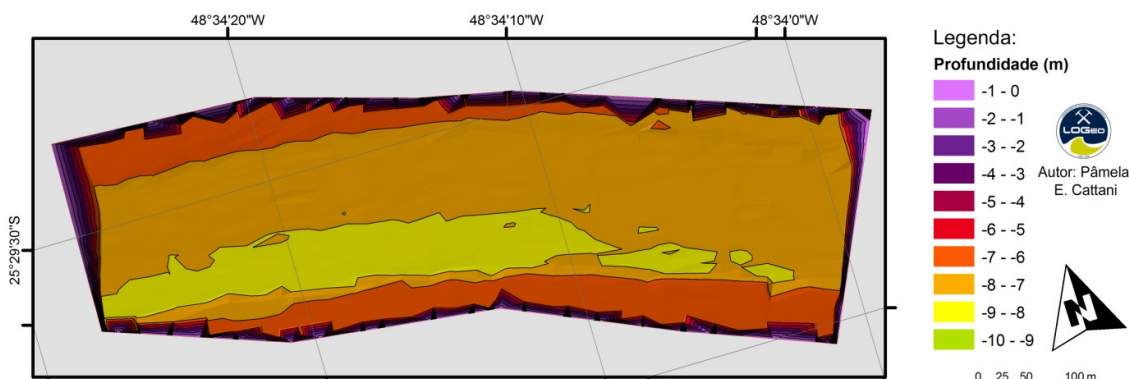


FIGURA 48: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA B, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

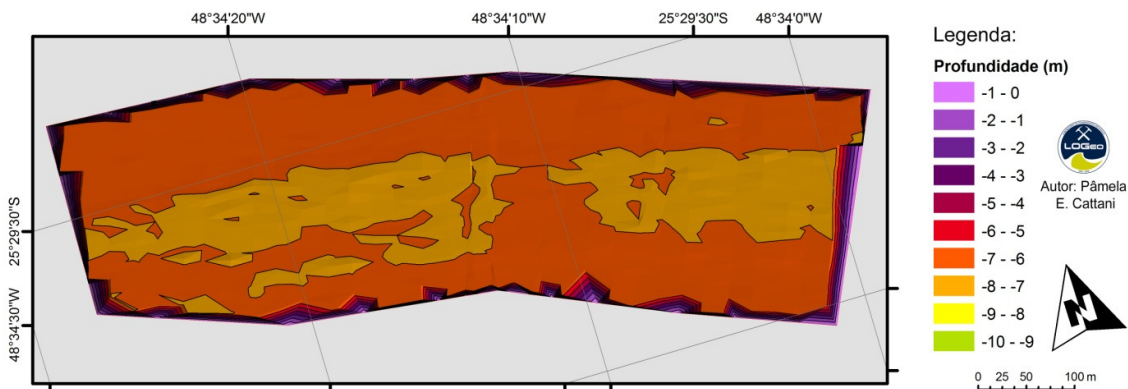


FIGURA 49: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA B, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

A área Charlie C, está localizada na altura das Ilhas Gererês (Figura 36), nesta região existe uma forte influência da Zona de Máxima Turbidez do eixo E-W do CEP embasados nos estudos de Noernberg (2001) e Zem (2008). Nesta área

foram realizados três levantamentos batimétricos em anos distintos (2003, 2004 e 2006), porém com variação suave na morfologia de fundo para esta área, somente com . A profundidade média encontrada foi de 8 m (FIGURA 50). A região com maior profundidade foi localizada na porção NW do mapa batimétrico com valores máximos de 9 m de profundidade. Este levantamento apresenta margens retilíneas e delimitadas em toda a sua extensão. Sendo assim, as áreas que apresentaram as menores profundidades estão compreendidas em ambas as margens, com média de 7 m de profundidade para todos os levantamentos.

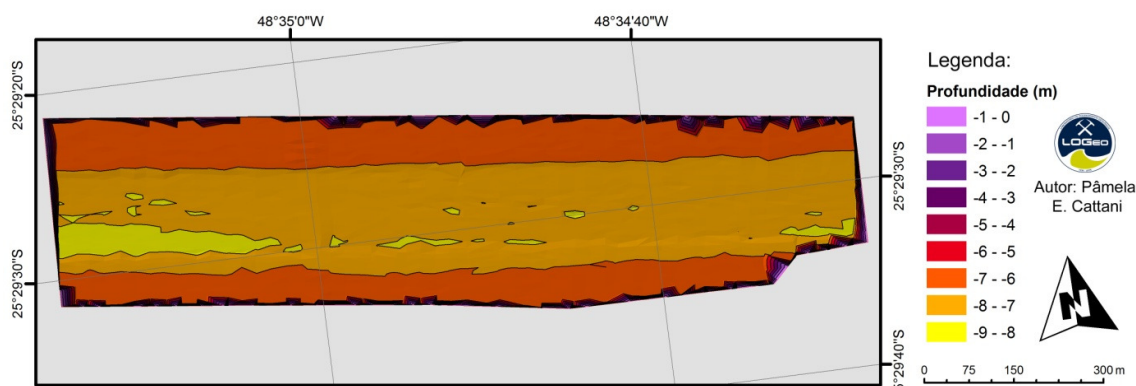


FIGURA 50: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA C, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

O setor Charlie D, que corresponde à menor área estudada ao longo do canal. Esta região também apresenta uma suave curvatura na direção SW. Apresenta profundidade média de 8 m, com maior profundidade localizada próxima a margem SW, com valor máximo de 9 m de profundidade (FIGURA 51).

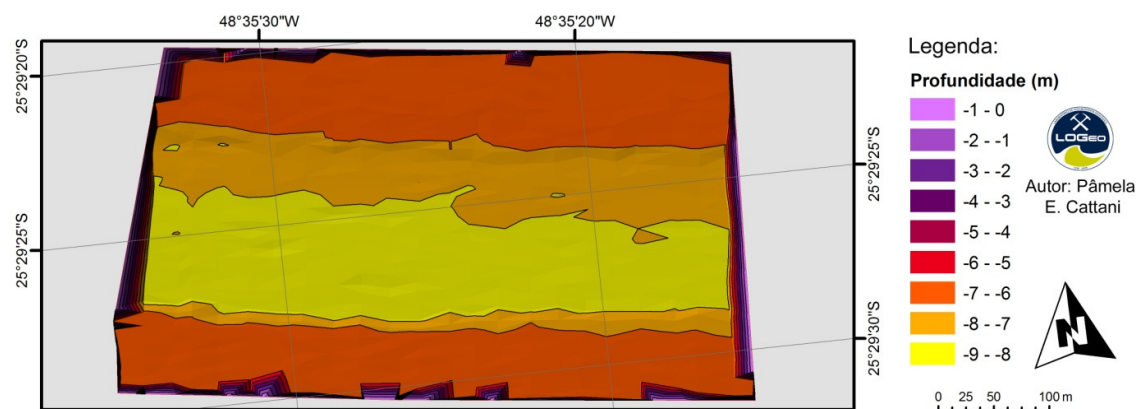


FIGURA 51: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA D, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

Foi observado que a margem NE possui uma declividade mais suave em relação a margem SW, que tem um maior grau de inclinação. Comparando-se os levantamentos batimétricos de 2003 e 2006 (FIGURA 52), a profundidade média observada foi de 8 m, em toda a extensão do levantamento, identificando uma redução da profundidade para esta área.

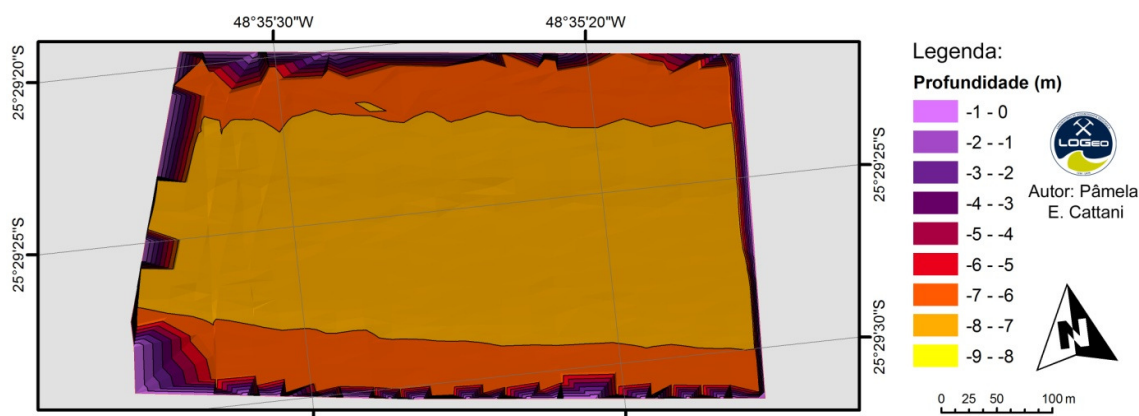


FIGURA 52: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA D, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

A área Delta E possui dois levantamentos batimétricos contínuos com alguns meses de diferença em 2003 (Junho e Agosto) e um levantamento em Fevereiro de 2006. No mapa batimétrico a margem NE na extremidade SE apresenta as menores profundidades com média de 7 m e 6 m (FIGURA 53). As maiores profundidades foram observadas na extremidade NW com valores máximos de 10 m de profundidade.

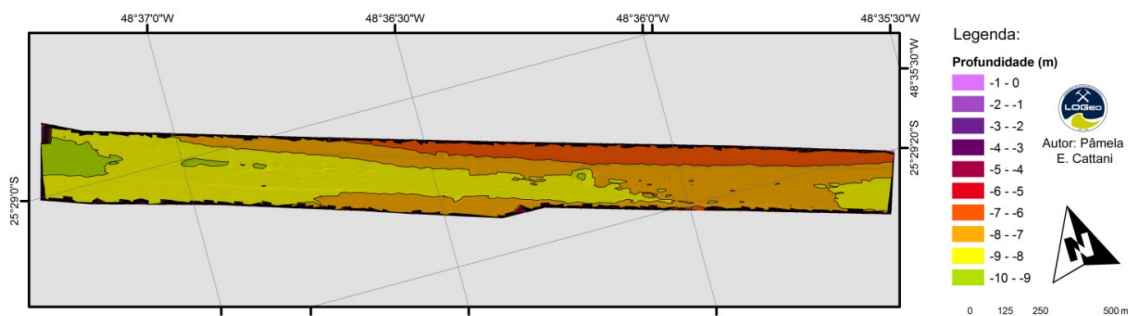


FIGURA 54: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA E, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

No ano de 2006 (FIGURA 54), para a área Delta E, se comparando com os levantamentos anteriores (Junho e Agosto de 2003), observa-se uma redução das

profundidades na porção central e na extremidade NW do levantamento batimétrico, com o avanço da isóbata de 8m sobre a de 9 m.

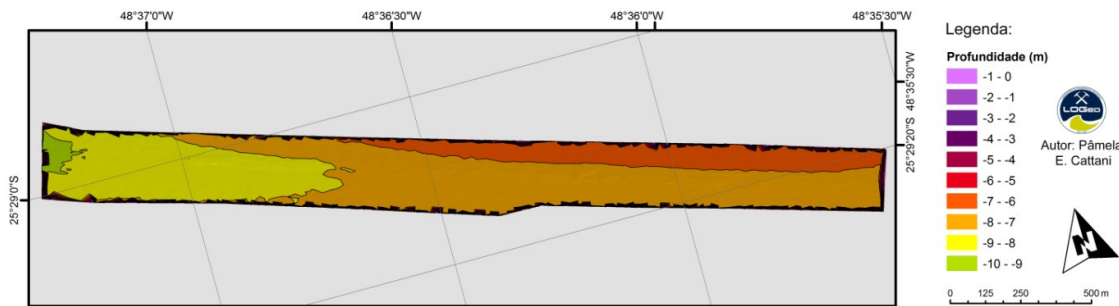


FIGURA 54: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA E, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DA ZMT.

A porção correspondente a área Delta do setor da ZMT do eixo E-W do CEP apresentou variações significativas na sua batimetria entre os levantamentos batimétricos. A partir dos mapas batimétricos, foram gerados perfis batimétricos a cada 500 m, orientados no eixo SW-NE, perpendiculares aos levantamentos (FIGURA 36).

Os Perfis 1 e 2 estão localizados na área Delta A. Para o Perfil 1 a máxima profundidade encontrada foi de 10 m no levantamento batimétrico de 2003, para as outras batimetrias a profundidade máxima foi de 9 m (FIGURA 55A). A largura média observada para este perfil foi de 230 m. Em ambas as margens, foram identificados degraus, com profundidade média de 7 m para todos os anos. No Perfil 2, a largura média observada foi de 240 m com as áreas mais profundas (8 m) no levantamento de 2003 e áreas mais rasas (7 m) para o ano de 2006 na cava do canal. Além disso, foi observado um degrau na margem SW com profundidade de 6,5 m para os três anos de batimetria (FIGURA 55B).

No levantamento batimétrico de 2004 foi encontrada a maior profundidade para o Perfil 3 com 8,5 m de profundidade. Neste perfil também foi observado uma redução das áreas profundas em toda a extensão do levantamento entre o período de 2003 a 2004 e este perfil está localizado na área Delta B (FIGURA 55C). No ano de 2003, a profundidade máxima encontrada foi de 8 m na margem SW do Perfil 4 (FIGURA 55D). Nesta margem observou-se uma redução das áreas profundas para o ano de 2006 de 1 m. Na margem NE deste perfil, sua borda foi alargada em 10 m

de 2003 para 2004. A largura média do perfil foi de 220 m e sua localização é na área Delta C.

Os Perfis 5 e 6 apresentaram o mesmo padrão com largura média de 310 m e bordas e cava do canal bem delimitadas (FIGURA 55E e F, respectivamente). A profundidade máxima observada foi de 8 m para os anos de 2003 e 2004, no levantamento de 2006 a máxima profundidade foi de 7 m. Além disso, um degrau foi observado nas margens com média de 7 m de profundidades. Os Perfis 5 e 6 estão localizados na área Delta C (FIGURA 36).

A área denominada de Zona de máxima turbidez apresentou um volume total da área de estudo de 100,6 milhões de m^3 , em uma área de 9,5 km^2 . Este volume total foi uma soma da média de todas as áreas em que este setor foi dividido (TABELA 10). Na área Charlie A o volume aumentou, do ano de 2005 a 2008, em 9,1 mil m^3 de sedimento. Este aprofundamento da cava do canal, também foi observado para as áreas Charlie D, Charlie E e Charlie F.

A área Charlie D apresentou uma redução de 7,2 mil m^3 , para o intervalo de 1999 a 2003, e de 65,3 mil m^3 de 2003 a 2007. Para as áreas Charlie E e Charlie F, a média do aprofundamento do canal entre os levantamentos batimétricos foi em torno de 185 mil m^3 . As únicas áreas que apresentaram uma redução do volume do levantamento foram a Charlie B e Charlie C.

Na área Delta A foi observado uma grande deposição de sedimento (37,4 mil m^3) num primeiro instante, seguido de uma deposição com menor volume de 5,8 mil m^3 . Entretanto, para as áreas Delta B, C e E, foi encontrado um padrão diferente, com uma remoção de sedimentos da cava do canal em um primeiro instante, e num segundo momento uma grande deposição com valores de 107,3 mil m^3 , 124,8 mil m^3 e 278 mil m^3 , respectivamente.

As áreas que apresentaram taxas de sedimentação foram a Charlie B e a Charlie C, localizadas próximo ao cais de atracação do Porto de Paranaguá e as Delta A, B, C, D e E, sendo a Delta E com maior taxa de assoreamento para a área W da ZMT com 9,2 mil $m^3/mês$, e para as outras áreas a média de sedimentação foi de 6 mil $m^3/mês$. Portanto, a maior taxa de assoreamento foi num intervalo de 8 meses para a área Charlie B com 28 mil $m^3/mês$. Este padrão também foi observado para o setor Charlie C com sedimentação 13,4 $m^3/mês$ (intervalo de 9 meses; TABELA 11).

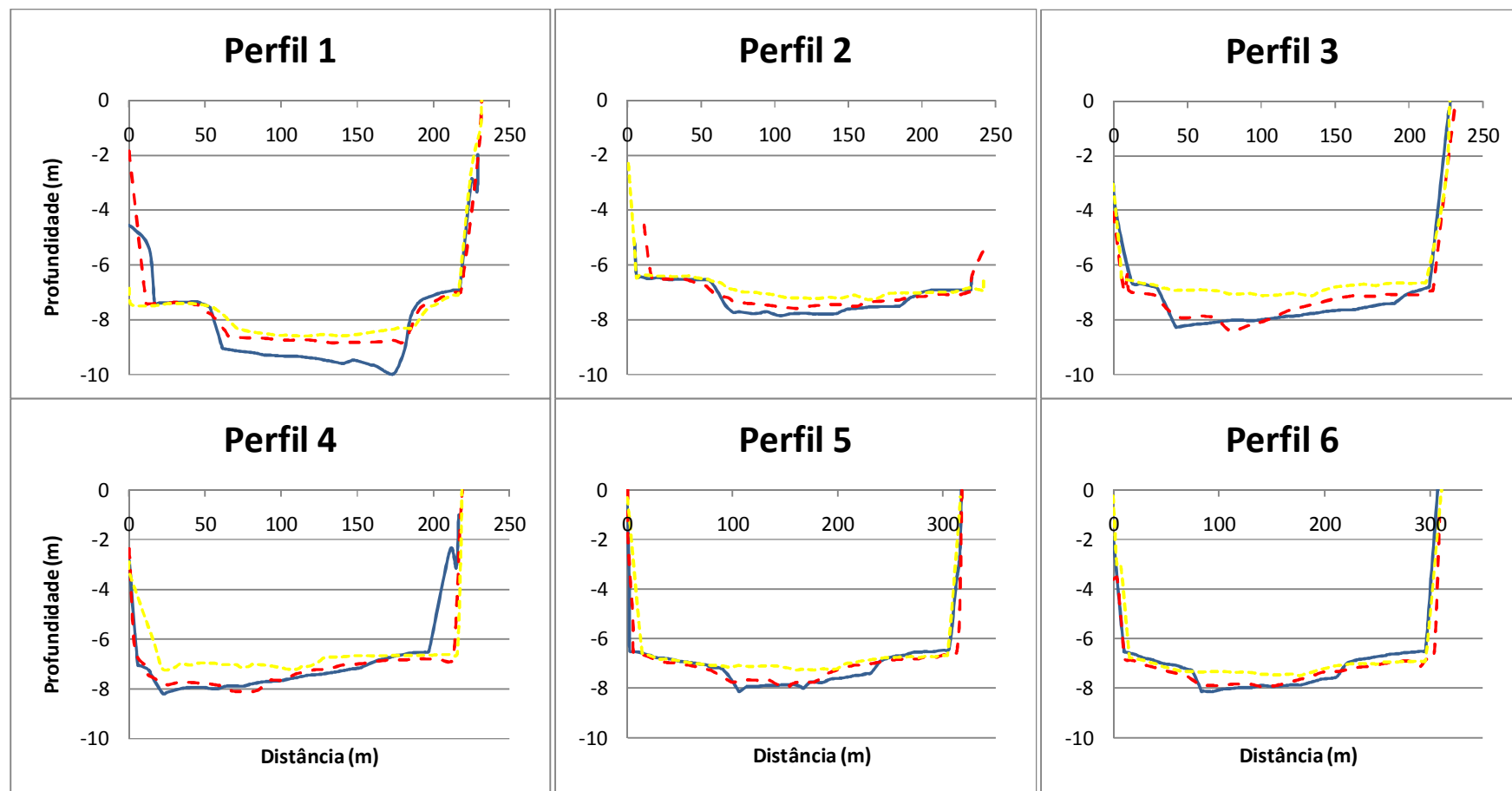


FIGURA 55: REPRESENTAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS (A) PERFIL 1; (B) PERFIL 3; (C) PERFIL 3; (D) PERFIL 4; (E) PERFIL 5; E (F) PERFIL 6, PARA OS TRÊS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS (— MAI/03 - - JUN/04 FEV/06) LOCALIZADOS NA ÁREA DELTA, INSERIDA NO AMBIENTE ESTUARINO SOBRE INFLUÊNCIA DA ZMT.

Tabela 10: Área 2D, área 3D e volume das área Charlie A, B, C, D, E e F e Delta A, B, C, D e E, para seus respectivos levantamentos batimétricos, inserido na zona de máxima turbidez do CEP.

Data das Batimetrias	Área 2D (m²)	Área 3D (m²)	Volume (m³)
Charlie A 2005	482.655,42	519.249,42	7.532.403,43
Charlie A 2008	482.686,07	522.770,01	7.541.548,23
Charlie B 2006	626.211,92	665.483,24	7.681.104,44
Charlie B 2007	626.069,01	663.102,03	7.456.959,66
Charlie B 2008	626.188,94	665.357,55	7.427.974,82
Charlie C 2006	390.554,99	417.889,90	4.459.484,63
Charlie C 2007	390.554,99	412.546,47	4.338.954,04
Charlie C 2008	390.510,54	414.090,46	4.324.208,80
Charlie D 1999	450.012,04	491.592,65	7.059.830,34
Charlie D 2003	450.012,04	492.099,05	7.067.099,97
Charlie D 2007	450.011,96	482.603,42	7.132.422,92
Charlie E 2003	3.595.319,94	3.629.772,19	41.244.569,13
Charlie E 2005	3.595.159,95	3.646.683,11	41.425.711,38
Charlie E 2007	3.595.268,52	3.660.098,98	41.606.080,70
Charlie F 2003	2.116.056,86	2.135.481,75	20.347.958,01
Charlie F 2004	2.115.728,41	2.144.077,31	20.547.531,09
Delta A 2003	193.107,95	200.524,87	1.426.137,45
Delta A 2004	193.211,66	199.698,63	1.388.735,51
Delta A 2006	193.211,66	200.578,83	1.382.950,25
Delta B 2003	192.970,49	198.854,33	1.343.592,61
Delta B 2004	192.970,47	199.431,70	1.352.212,30
Delta B 2006	192.970,49	198.134,04	1.244.841,05
Delta C 2003	400.932,29	410.359,31	2.791.554,98
Delta C 2004	400.775,68	410.727,12	2.826.287,82
Delta C 2006	400.932,29	410.505,11	2.701.471,31
Delta D 2003	167.941,56	173.256,58	1.179.896,40
Delta D 2004	167.941,56	172.217,61	1.174.628,74
Delta D 2006	167.925,54	172.347,50	1.128.650,62
Delta E 2003a	728.847,33	752.940,38	5.531.427,68
Delta E 2003b	728.847,33	753.191,99	5.565.828,28
Delta E 2006	728.955,03	751.399,68	5.287.801,69

Tabela 11: Taxas de assoreamento para os dos 11 setores (Charlie A, B, C, D, E, F e Delta A, B, C, D e E) na área denominada de ZMT do eixo E-W do CEP, para os respectivos levantamentos batimétricos.

Datas das Batimetrias	Intervalo (meses)	Volume (m³)	Taxa (m³/mês)
Charlie A (2005/2008)	37	-9.144,80	-247,16
Charlie B (2006/2007)	8	224.144,78	28.018,10
Charlie B (2007/2008)	9	28.984,84	3.220,54
Charlie C (2006/2007)	9	120.530,59	13.392,29
Charlie C (2007/2008)	9	14.745,24	1.638,36
Charlie D (1999/2003)	51	-7.269,63	-142,54
Charlie D (2003/2007)	45	-65.322,95	-1.451,62
Charlie E (2003/2005)	25	-181.142,25	-7.245,69
Charlie E (2005/2007)	21	-180.369,32	-8.589,02
Charlie F (2003/2004)	8	-199.573,08	-24.946,63
Delta A (2003/2004)	13	37.401,94	2.877,07
Delta A (2004/2006)	20	5.785,26	289,26
Delta B (2003/2004)	13	-8.619,69	-663,05
Delta B (2004/2006)	20	107.371,25	5.368,56
Delta C (2003/2004)	13	-34.732,84	-2.671,76
Delta C (2004/2006)	20	124.816,51	6.240,83
Delta D (2003/2004)	13	5.267,66	405,20
Delta D (2004/2006)	20	45.978,12	2.298,91
Delta E (2003a/2003b)	2	-34.400,60	-17.200,30
Delta E (2003b/2006)	30	278.026,59	9.267,55

6.4. CABECEIRA DO ESTUÁRIO

O setor de cabeceira do estuário compreende uma porção do canal de acesso aos Portos de Antonina é denominado de Delta pela APPA, e tem seu início no estrangulamento da área entre a Ilha do Teixeira e a Ilha da Ponta grossa. O setor delta tem uma extensão de aproximadamente 6,5 km, por isso foi dividido em quatro segmentos denominados de Delta F, Delta G, Delta H e Delta I.

A área Delta F, esta compreendida na frente da desembocadura do Rio Nhundiaquara entre a Ilha do Teixeira e a Ilha da Ponta Grossa. A área Delta G está localizada a montante da desembocadura do Rio Nhundiaquara. A área Delta H, esta localizada próxima a bacia de evolução do Porto de Antonina. E finalmente a área Delta I esta compreendida na bacia de evolução do Porto de Antonina (FIGURA 56).

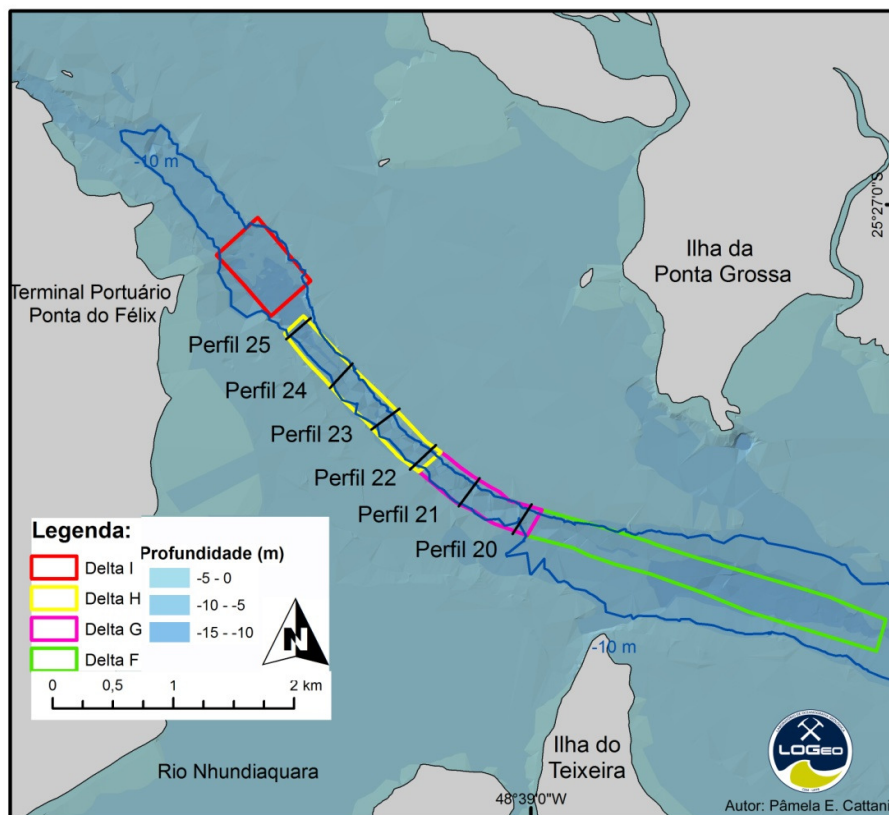


FIGURA 56: MAPA BATIMÉTRICO E DE LOCALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS INSERIDOS NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A NW.

No levantamento batimétrico de 2003 e 2006 para a área Delta F, as maiores profundidades (17 m) foram localizadas na porção central, próximo a uma formação rochosa com valores médios de 10 m (FIGURA 57). Na extremidade NW, foram observadas as menores profundidades, com valores mínimos de 6 m. Na extremidade SE o levantamento apresenta um declive em direção ao quadrante NW.

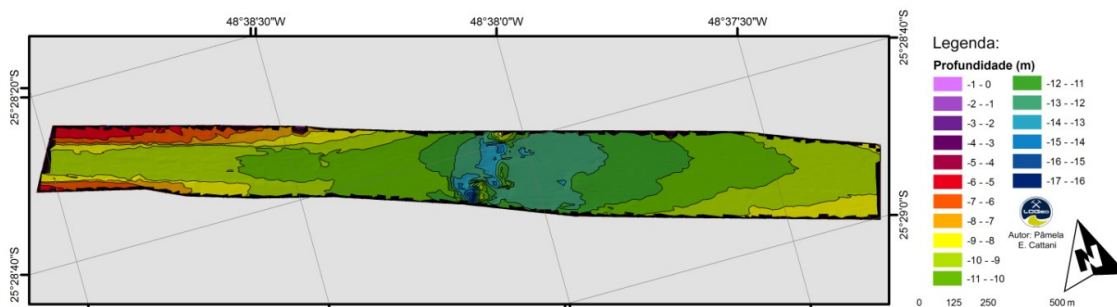


FIGURA 57: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA F, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A NW.

Esta porção do canal, correspondente a área Delta G apresenta uma suave curvatura na direção SW. O mapa batimétrico de 2003 apresenta a forma curva, porém suas margens são delimitadas (FIGURA 58). O levantamento apresenta profundidade máxima de 10 m e áreas rasas de 4 m de profundidade foram observadas nas margens. A extremidade SE apresenta uma menor largura em relação à extremidade NW.

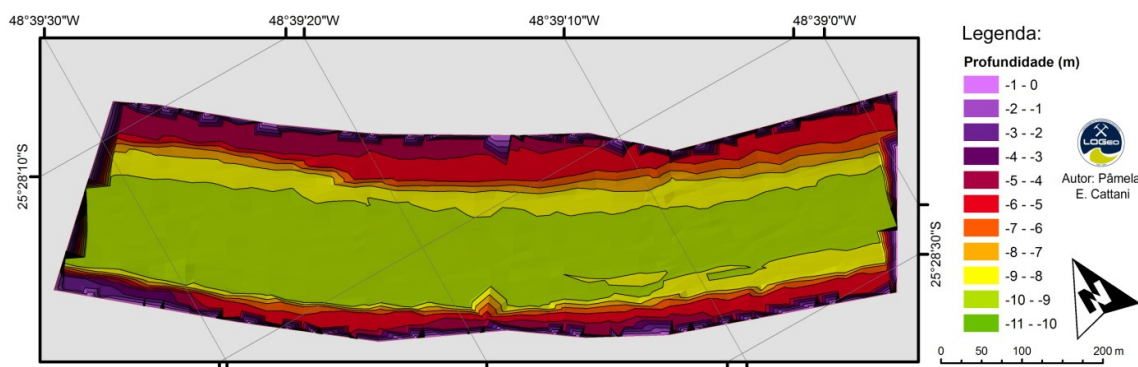


FIGURA 58: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA G, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A NW.

No ano de 2006 (FIGURA 59), o levantamento batimétrico apresentou a maior profundidade de 11 m, localizada na extremidade NW. Quando comparado com o levantamento anterior foi possível identificar um assoreamento, principalmente na extremidade SE e foi observado um avanço da margem NE em direção ao quadrante SW.

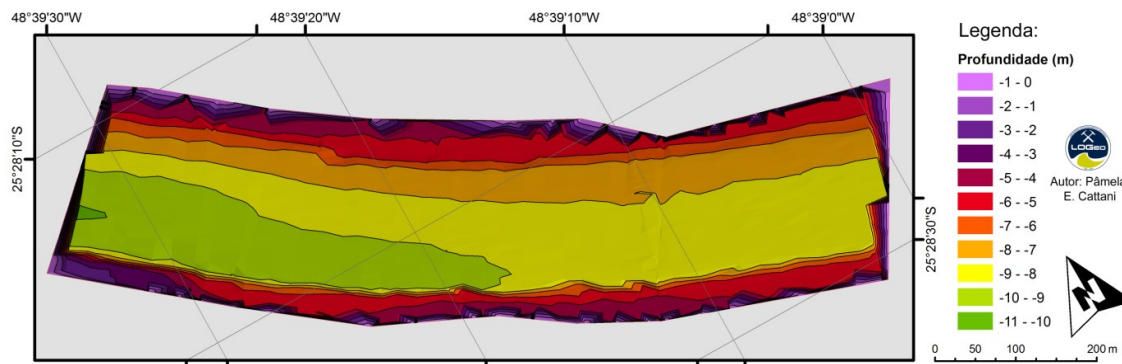


FIGURA 59: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA G, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A NW.

Para os levantamentos batimétricos de 2003 e 2006, na área Delta H, a profundidade média encontrada foi de 10 m, com valor de profundidade máxima de 11 m na extremidade NW (FIGURA 60 E 61). Na porção central é observado um suave avanço da borda NE em direção ao quadrante SW. As menores profundidades observadas foram de 5 m na margem NE. A maior profundidade observada foi de 12 m, na extremidade NW. As menores profundidades encontradas foram nas margens com valores médios de 6 m e 5 m. Quando comparados os dois levantamentos, foi possível observar um avanço da margem NE na extremidade SE na direção do quadrante W-SW.

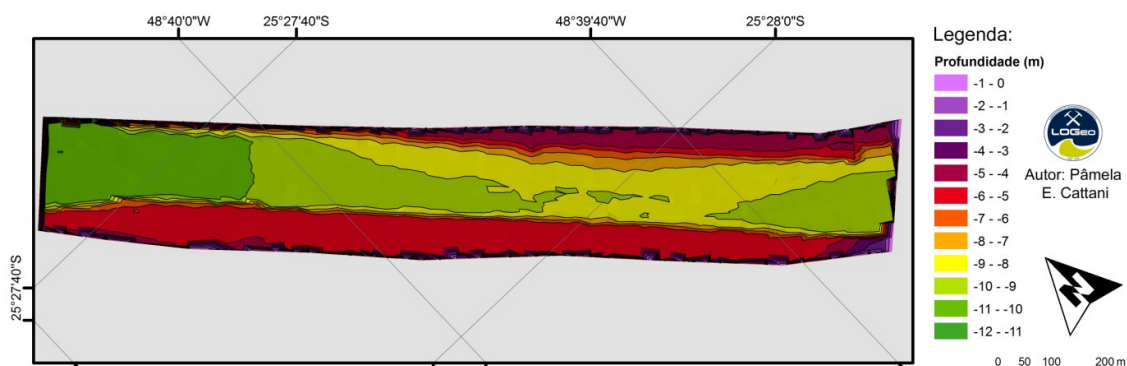


FIGURA 60: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA H, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A SW.

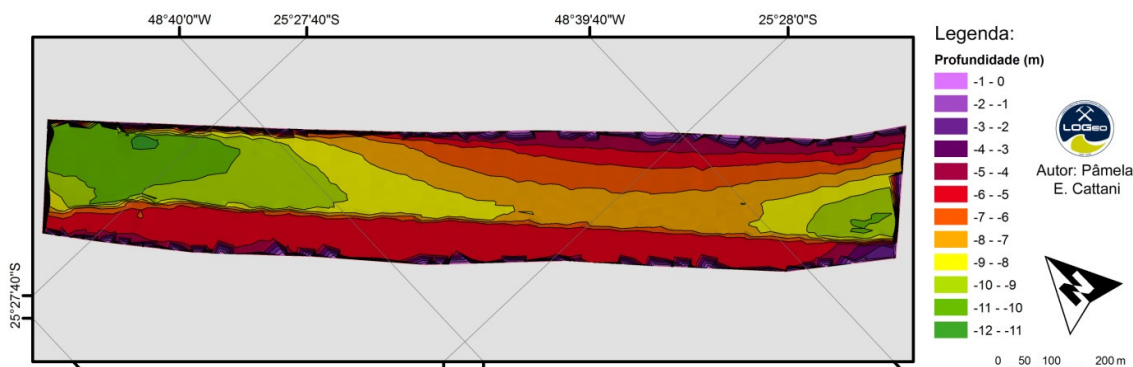


FIGURA 61: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2006, PARA A ÁREA DELTA H, LOCALIZADA NO CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE ANTONINA, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A SW.

Para os levantamentos de Maio e Junho de 2003, as maiores profundidades estão localizadas na extremidade SE, com valores máximos em torno de 11 m (FIGURA 62). As menores profundidades são observadas na porção N com valores médios de 5 m. Foi possível identificar um declive na batimetria nas bordas NW, NE

e SW em direção a SE. Quando comparados os dois levantamentos foi possível identificar um aprofundamento da batimetria do local em toda a borda SW e SE (FIGURA 63).

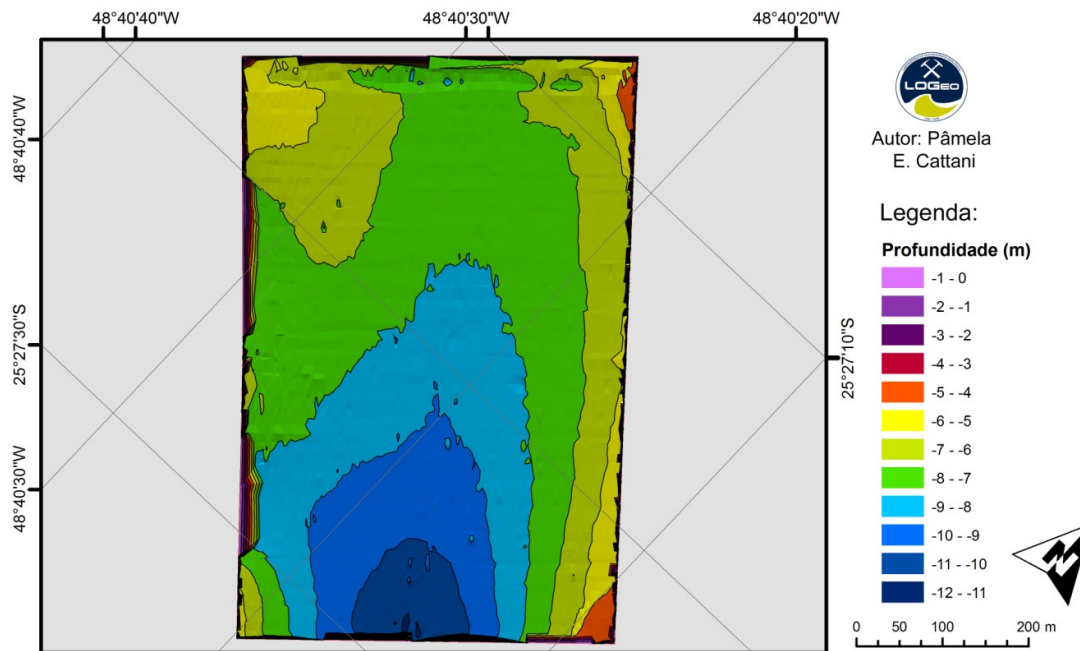


FIGURA 62: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA I, LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO TERMINAL PORTUÁRIO PONTA DO FÉLIX, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A SW E DO RIO CACHOEIRA A N-NW.

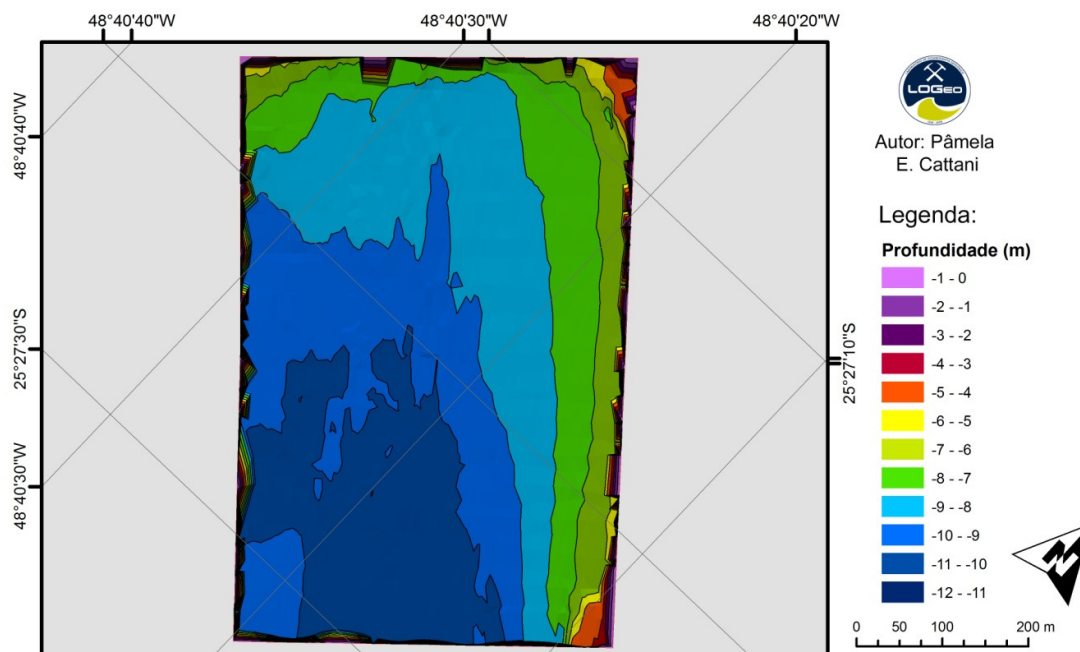


FIGURA 63: MAPA BATIMÉTRICO CORRESPONDENTE AO ANO DE 2003, PARA A ÁREA DELTA I, LOCALIZADA NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO TERMINAL PORTUÁRIO PONTA DO FÉLIX, INSERIDA NO SETOR DE CABECEIRA DO ESTUÁRIO COM INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL DO RIO NHUNDIAQUARA A SW E DO RIO CACHOEIRA A N-NW.

Para o Perfil 20 (FIGURA 64A), a largura média observada foi de 245 m, e a margem NE apresentou um avanço em direção a SW, com profundidade mínima de 5 m e maior de 9 m para o ano de 2003. Já para o Perfil 21, a profundidade máxima foi de aproximadamente 10 m para o ano de 2003 na porção NE do Perfil, com assoreamento para o ano de 2006 de 1,5 m (FIGURA 64B). A largura média observada foi de 250 m, com um maior grau de inclinação para a margem NE no ano de 2003. Os Perfis 20 e 21 estão dispostos sobre a área Delta G, e estão localizados na desembocadura do Rio Nhundiaquara.

Os Perfis 22, 23, 24 e 25 estão dispostos sobre a área Delta H, e também sofrem influência direta com a descarga fluvial da desembocadura do Rio Nhundiaquara. Para o Perfil 22 a largura média encontrada foi de 240 m, com maior profundidade associada à margem SW com 10 m para o levantamento de 2006 (Figura 64C), a qual tem um grau de inclinação mais elevado quando comparado com a margem oposta (NE) e apresenta as menores profundidades do perfil de 3 m.

Foi observado um avanço em ambas as margens, sobre a cava do canal para o Perfil 23 (FIGURA 64D). As áreas rasas apresentaram valores de 4 m e 5 m para as margens NE e SW, respectivamente. A profundidade máxima observada foi de 9 m para o ano de 2003, com redução da batimetria em 2 m no ano de 2006. No Perfil 24 (FIGURA 64E), foi observada uma largura média de 240 m com um avanço de 90 m na margem NE em direção ao quadrante SW. A profundidade máxima foi de 9,5 m para o ano de 2003 com acúmulo de sedimentos (1 m) na porção NE para o ano de 2006. Já o Perfil 25, apresentou um aprofundamento em relação aos outros perfis, com profundidade máxima de 11 m e foi identificado um assoreamento da margem NE de 50 m com profundidade mínima de 5 m (FIGURA 64F).

Para o setor Delta, inserido no ambiente estuarino de cabeceira do estuário, o volume total entre as quatro áreas foi de 15 milhões de m³, em uma área correspondente a de 1,7 km², dispostos na Tabela 12. Na maioria das áreas deste setor apresentou um aumento do volume na cava do canal, com isso podendo ser estimada taxa de sedimentação para quase todas as áreas.

Todas as áreas que apresentaram uma taxa de sedimentação (TABELA 13), exceto a área Delta I em que foi identificada uma operação de dragagem, com remoção de 306,8 mil m³ de sedimento. A maior taxa de assoreamento foi num intervalo de 32 meses para a área Delta F com 6,3 mil m³/mês. Entretanto a média das taxas de assoreamento para as demais áreas foi em torno de 5 mil m³/mês.

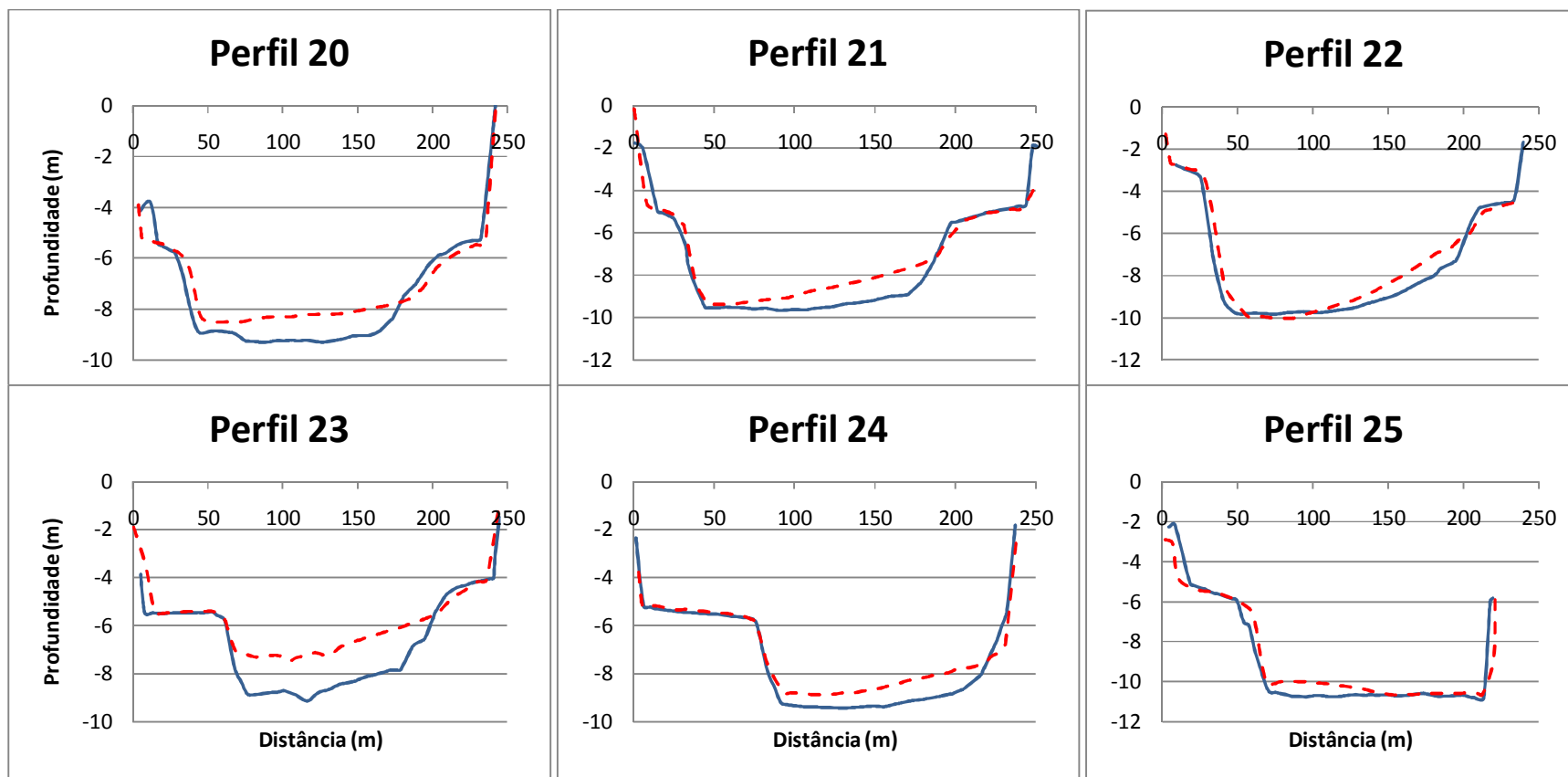


FIGURA 64: REPRESENTAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS (A) PERFIL 14; (B) PERFIL 15; (C) PERFIL 16; (D) PERFIL 17; (E) PERFIL 18; E (F) PERFIL 19, PARA OS DOIS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS (— JUN/03 - - - FEV/06) LOCALIZADOS NA ÁREA DELTA.

TABELA 12: ÁREA 2D, ÁREA 3D E VOLUME DAS ÁREA DELTA F, G, H E I, INSERIDAS NO AMBIENTE DE CABECEIRA DE ESTUÁRIO, COM INFLUENCIA DA DESCARGA FLUVIA, PARA SEUS RESPECTIVOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.

Datas das batimetrias	Área 2D (m²)	Área 3D (m²)	Volume (m³)
Delta F 2003	827.978,57	862.224,05	8.081.790,63
Delta F 2006	828.064,25	859.174,95	7.878.035,51
Delta G 2003	246.112,47	252.334,42	1.834.136,02
Delta G 2006	245.811,19	251.177,88	1.730.411,25
Delta H 2003	384.705,05	394.699,57	2.820.227,87
Delta H 2006	384.705,46	393.887,36	2.631.635,56
Delta I Maio 2003	305.739,06	314.192,76	2.290.344,84
Delta I Junho 2003	305.670,18	314.450,70	2.597.177,86

TABELA 13: TAXAS DE ASSOREAMENTO PARA OS DOS QUATRO SETORES (DELTA F, G, H E I) NA ÁREA DELTA PARA OS RESPECTIVOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.

Datas das Batimetrias	Intervalo (meses)	Volume (m³)	Taxa (m³/mês)
Delta F (2003/2006)	32	203.755,12	6.367,35
Delta G (2003/2006)	32	103.724,77	3.241,40
Delta H (2003/2006)	32	188.592,31	5.893,51
Delta I (Maio 2003/ Junho 2003)	1	-306.833,02	-306.833,02

7. DISCUSSÃO

A sedimentação contínua de um ambiente como o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), principalmente na região da Plataforma continental interna, diz respeito a uma dinâmica sedimentar complexa (Lamour, 2007). As taxas de assoreamento encontradas para este ambiente tiveram valores elevados em uma pequena área, pois sobre o lobo terminal do delta de maré vazante foi possível a identificação de um ponto crítico de assoreamento, sendo que este avança na direção do quadrante NE. Segundo Lamour *et al.* (2007), esta tendência se deve principalmente ao transporte de sedimentos pela corrente longitudinal no litoral do Paraná, observadas por Marone *et al.* (1995) e identificadas em formas de fundo por Angulo (1999). Entretanto, uma série inédita de perfis batimétricos neste trabalho proporcionou uma melhor visualização desses pontos, tornando explícito o avanço do delta de maré vazante na direção NE. Devido às pequenas profundidades o delta de maré vazante na desembocadura do CEP age como um redutor da energia das ondas provenientes de SE. Parte desta energia é transferida aos sedimentos de fundo e convertida em transporte provocando o assoreamento desta área (Lamour, 2000).

As taxas de assoreamento para a Plataforma continental interna tiveram uma média que coincidiu com o valor encontrado por Lamour *et al.* (2007) em um período distinto. Porém para um dos intervalos de tempo estudados por esses autores o valor da taxa foi em torno de 12 vezes maior. Isto pode ter ocorrido pela falta de padronização dos dados batimétricos quanto ao NR relatado pelos autores, por isso vale ressaltar que é fundamental que os dados sejam homogêneos para comparações de balanço volumétrico.

Soares *et al.* (1997) verificaram áreas críticas de assoreamento para esta mesma área, porém por sedimentos provenientes do quadrante NE sobre o delta de maré vazante, coincidindo com os resultados encontrados neste trabalho. Apesar das duas frentes de ondas principais (S-SE e E-NE; Portobrás, 1983; *apud* Lamour, 2007), a resultante das correntes de deriva litorânea é para ao quadrante NE, gerando inversões neste padrão durante os períodos em que atuam as ondas de E-NE.

Segundo Lessa *et al.* (1998) o eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) apresenta uma segmentação, em três setores, na distribuição dos

sedimentos de fundo. Na cabeceira do estuário (zona superior meandrante) encontram-se areias fluviais, no setor intermediário (zona de funil) predominam lamas, e na área de desembocadura encontram-se areias finas a muito finas bem selecionadas, com características marinhas. Assim, não ocorrendo o aporte de areias fluviais a partir da cabeceira do estuário para a área de desembocadura (Lessa *et al.*, 1998; Odreski, 2002). Portanto, os sedimentos oriundos da plataforma continental pelas forçantes oceanográficas é retrabalhado neste ambiente, contribuindo para o assoreamento.

O ponto de assoreamento elevado identificado na desembocadura do estuário pode estar relacionado tanto com a sua extensão (7 km²), quanto pela convergência dos eixos E-W e N-S do CEP, onde segundo Noernberg (2001) ocorre o empilhamento das correntes de maré vazante. Com isso, pode-se dizer que a energia de carreamento de sedimentos se concentra na área da Ponta Oeste da Ilha do Mel. Em contraponto, na adjacência da ilha das Cobras e do Saco do Tambarutaca, a baixa energia do ambiente faz com que ocorra a sedimentação identificada neste estudo. Este processo foi evidenciado por Lamour & Soares (2008) em estudos de evolução batimétrica para os baixios localizados na desembocadura do CEP, o qual identificou um aumento do volume e redução da profundidade nesta região. Todavia, algumas porções deste ambiente apresentaram uma taxa de erosão de ~4 mil m³/mês, o que não está associada a operações de dragagem e sim a fatores naturais, por não ser uma área de interesse portuário.

Os sedimentos de fundo para este ambiente de desembocadura tiveram predominância de areia fina a muito fina (Lamour *et al.* 2004). Esta granulometria, segundo Dalrymple *et al.*, (1992), esta relacionada a feições de fundo, que são abundantes em estuários de planície costeira dominados por marés, onde são amplamente distribuídas em barras alongadas, perpendiculares ao sentido das correntes.

Foram identificadas formas de fundo para a área próxima ao Saco do Limoeiro, na rampa do canal de vazante identificado por Angulo (1999; Figura 10). Essas formas já haviam sido constatadas por Lamour (2001; 2007) como um campo de ondas de areia (*sandwaves*), as quais coincidiram com as médias de altura e comprimento de onda das feições encontradas no presente estudo. Segundo Lamour (2000; 2007), este campo de dunas provavelmente está associado a uma

diminuição da velocidade das correntes, devido a maior área de secção do estuário neste local.

Entretanto, as formas de fundo identificadas na adjacência do Balneário Pontal do Sul (FIGURA 26) não coincidem com a localização das encontradas por Lamour (2007). As formas de fundo apresentaram valores diferentes de comprimento e altura de onda, o que pode ter ocorrido devido às diferentes profundidades em que estas feições foram encontradas. Segundo Rubin & McCulloch (1980, *apud* Lamour, 2007) é necessária uma relação determinada, entre profundidade da lâmina de água, velocidade de fluxo da corrente e tamanho médio de grãos, para que ocorra a formação de feições como as encontradas neste trabalho.

Segundo Lamour (2007), através das formas de fundo encontradas para esta área fica evidente a correlação entre os processos de transporte sedimentar e o predomínio das correntes de vazante perante as de enchente neste setor do CEP.

Para o ambiente de Zona Máxima de Turbidez foram encontrados alguns pontos de erosão e sedimentação. Através das taxas de assoreamento, a região que propicia o acúmulo de sedimento está localizada na adjacência do Porto de Paranaguá (cais acostável), essa mesma tendência também foi identificada por Carrilho (2003). Na região onde se concentram as rochas identificadas no interior do CEP (Lamour *et al.*, 1998) foi encontrada uma taxa de erosão crônica, o que pode ser resultado do anteparo físico formado pelas rocha para as correntes de maré. Assim, pode ter havido a intensificação do fluxo de correntes de maré o que pode ter intensificado o seu poder trativo, incorrendo na competência de carrear sedimentos.

A área que apresentou a maior taxa de sedimentação para o ambiente de ZMT, esta localizada entre a Ilha dos Gererês e a Ilha do Teixeira (FIGURA 36) onde diversos autores (Mantovanelli, 1999; Noernberg, 2001; Zem, 2008) identificaram a área com maior influência da ZMT. Segundo estes mesmos autores, esta área apresenta grande concentração de material particulado em suspensão aliado ao processo de floculação induzido pela mudança da salinidade, o que segundo Dyer (1995) resulta na rápida deposição dos sedimentos finos.

Os sedimentos finos são predominantes neste ambiente (Lamour & Soares, 2007), exceto na região da desembocadura do Rio Nhundiaquara, com porções esparsas da fração areia. Segundo estes mesmos autores, isto se deve a descarga fluvial e contribui para o assoreamento da região.

Soares & Noernberg (2007), identificaram nesta área uma concentração de até 50 cm de lama fluída. Além disso, esta área está próxima a desembocadura do Rio Nhundiaquara, o qual segundo Paula & Cunico (2007) é o maior em área de drenagem para o CEP. Foram observadas, em 1997 e 1998, para esta área, concentrações de MPS entre 80 e 250 mgL⁻¹ junto ao fundo, com uma grande variabilidade temporal e espacial. Estas, relacionadas à intensidade das correntes de maré, aos processos de advecção e ressuspensão e às características intrínsecas das partículas em suspensão (Mantovanelli, 1999), o que pode contribuir para sedimentação destas partículas finas.

Na área de Cabeceira do estuário, mais precisamente na região da Baía de Antonina, foi verificada uma tendência geral de assoreamento, corroborando o estudo realizado por Odreski (2002). As taxas de sedimentação para a região da Baía de Antonina foram determinadas por Lamour & Soares (inédito) com o auxílio de levantamentos batimétricos sobre o canal navegável como ferramenta para o estudo. Porém, as áreas utilizadas para os setores do canal que estes autores apresentaram, possuem menor largura e volumes até 3,5 vezes maiores se comparada com os levantamentos do presente estudo. Isto provavelmente se deve ao pequeno número de levantamentos batimétricos, neste caso apenas dois, que foram utilizados por estes autores. Um fator a ser considerado é a padronização dos levantamentos batimétricos quanto ao NR e datum horizontal, os quais podem embutir erros para os cálculos de volume.

Outro ponto a ser considerado é o método pelo qual os volumes foram obtidos, sendo que Lamour & Soares (inédito) utilizaram o *software* SURFER 8 com interpolação através de *krigagem*, enquanto para este estudo o *software* utilizado foi o ArcGIS 9.2 com pontos interpolados através de triangulação.

Os sedimentos de fundo para a cabeceira do estuário, apresentam sedimentos finos e grossos associados a desembocadura dos aportes fluviais nesta região (Lamour *et al.*, 2004). Este ambiente possui uma vasta área que apresenta baixas profundidades (Odreski, 2002) e uma baixa energia pelas fracas correntes de maré. Devido a isso ocorre a deposição de sedimentos, a formação de extensos manguezais e baixios abundantes na região (Noernberg & Lana, 2002), os quais, segundo (Perillo, 1995), são as áreas mais propícias a agregar sedimentos desta espécie.

8. CONCLUSÃO

De uma maneira geral, foi possível a identificação de pontos de assoreamento para os distintos ambientes deposicionais inseridos no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). O setor de Plataforma continental interna apresentou os maiores valores de volume, para as taxas de assoreamento, em torno de 19 mil m³/mês. Este resultado corroborou trabalhos realizados por outros autores sobre o mesmo local. Para os setores de Zona de Máxima Turbidez e Cabeceira do estuário as médias dos volumes das taxas de assoreamento foram de 6,7 mil m³/mês e 5,1 mil m³/mês, respectivamente. Portanto, quando relacionados com as suas extensões é possível afirmar que o setor de Plataforma continental interna apresentou as maiores taxas de assoreamento, seguido do setor de Cabeceira do estuário e por final o setor de Zona de Máxima Turbidez.

O conjunto de dados referente ao setor de Desembocadura do estuário não possibilitou a identificação de uma taxa de assoreamento geral para este ambiente, devido à falta de levantamentos batimétricos pós e pré dragagem, para algumas regiões deste setor. Por conta disso, as operações de dragagem são consideradas um fator limitante para determinar com precisão as taxas de assoreamento em todo o CEP, já que muitas áreas apresentaram valores negativos para as taxas de sedimentação.

Foram identificadas formas de fundo (ondas de areia) na adjacência do Balneário Pontal do Sul, as quais nunca foram antes estudadas. Já as feições de fundo identificadas próxima a Ilha do Mel, apresentaram alturas e comprimentos de onda que coincidiram com os valores encontrados em outros trabalhos o mesmo campo de ondas de areia.

O conjunto de dados utilizado para a realização deste trabalho satisfaz a proposta estabelecida, a qual foi o cálculo das taxas de assoreamento. Ademais, através dos perfis batimétricos foi identificada uma tendência horizontal de assoreamento para o setor de Plataforma continental interna, e vertical para os setores de Zona de Máxima Turbidez e Cabeceira do estuário.

Uma das dificuldades encontradas para este trabalho está relacionada com a padronização dos dados batimétricos, referentes ao NR e datum horizontal, os quais precisam ser padronizados para a realização de trabalhos com balanço volumétrico, com o intuito de comparações futuras. O SIG se mostrou uma ótima

ferramenta para a realização dos MDEs, perfis batimétricos e cálculo dos volumes, além de útil para a correlação e visualização dos dados georreferenciados. Assim servindo como um auxílio nas tomadas de decisão envolvendo gerenciamento costeiro e sua aplicação na oceanografia pode ser potencializada através de banco de dados que envolvam as várias características físicas do terreno, dados químicos na coluna de água e nos sedimentos, granulometria, dados biológicos entre outros, mostrando a interdisciplinaridade deste sistema.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, R.J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. 334 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

_____. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. **Anais Academia Brasileira d Ciências**, v. 71, n.4-II. p. 935-959. Rio de Janeiro. 1999.

APPA- Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina. **Tipos de carga**. Disponível em: <<http://www.portosdoparana.pr.gov.br/>>. Acesso 09 de novembro de 2009.

ARAÚJO, A.D.; ANGULO, R.J.; NOERNBERG, M.A.; ODRESKY, L.L.R. 1999. Levantamento inicial de informações estratigráficas e hidrodinâmicas do Saco do Limoeiro, Ilha do Mel, Estado do Paraná. In: Congresso da Associação Brasileira do Qauternário - ABEQUA, 8., 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro : UFBA. 1 CD-ROM.

BIGARELLA, J. J., BECKER, R. D.; MATOS, D. J.; WERNER, A. **A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento, Governo do Paraná, 1978.

BOKUNIEWICZ, H. Sedimentary systems of Coastal-plain Estuaries. In PERILLO, G.M.E. (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of Estuaries**. The Netherlands: Elsevier Science B.V. 1995. p 49-67.

BOOTH, B. **Using ArcGIS 3D Analysis**. New York: ESRI Press, 2001.

CÂMARA, G. *et al.* **Anatomia de Sistemas de Informacao Geografica**. UNICAMP-SAGRES, 1997. v. único

CAMARGO, R.; HARARI, J. Modelagem numérica de ressacas na plataforma sudeste do Brasil a partir de cartas sinóticas de pressão atmosférica na superfície. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 42, p. 9-34, 1994.

CAMERON, W.M.; PRITCHARD, D.W. Estuaries. In: HILL, M.N.(ed.). **The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas**. New York: Interscience, p. 306-324, 1963.

CARRILHO, J. C. **Dinâmica sedimentar do fundo adjacente ao Porto de Paranaguá**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2003.

DALRYMPLE, R.W., ZAITLIN, B.A., BOYD, R., 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications, . J. Sed. Petrology 62, 1130–1146.

DYER, K.R. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G.M.E. (ed.). **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries**. Developments in Sedimentology, n. 53. Elsevier, p. 423-449, 1995.

FELGUEIRAS, C. A.; **"Análises sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Sistemas de Informação Geográfica"**. VIII Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. Mérida, Venezuela. 1997.

FERNANDES, M. C. & MENEZES, P. M. L. Avaliação do uso de observações em superfície real para análises geoecológicas de dinâmica da paisagem: um estudo de caso no maciço da Tijuca – RJ (1972-1996). **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3869-3876.

HAYES, M.O. 1980. General morphology and sediment patterns in tidal inlets. Sediment. Geol., Amsterdam, v.26, p. 139-156.

KNOPPERS, B. A.; BRANDINI, F. P; THAMM C. A. 1987. Ecological studies in the bay of Paranaguá. II. Some physical and chemical characteristics. **Nerítica**, Curitiba, v. 2, p.1-36, 1987.

LAMOUR, M.R. **Dinâmica Sedimentar do Canal da Galheta, Via de Acesso ao Porto de Paranaguá – Pr.** 100 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

_____. **Morfodinâmica Sedimentar da Desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR.** 162 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

LAMOUR, M.R.; ANGULO, R.J.; SOARES, C.R. Bathymetrical Evolution of Critical Shoaling Sectors on Galheta Channel, Navigable Access to Paranaguá Bay, Brazil. **Journal of Coastal Research**. Florida, v. 23, n. 1, p. 49-58, 2007.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C.R.; CARRILHO, J.C. Mapas dos parâmetros texturais dos sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – Pr. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, v. 55, p. 77-82, 2004.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C.R. A “Barra de Paranaguá” e a Evolução Batimétrica do delta de maré vazante na Desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (PR). In: BOLDRINI, E.B; SOARES, C.R; PAULA, E.V. (Org). **Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente**. Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/Secretaria de Ciência e tecnologia para Inclusão social. 2008. p.69-87.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C.R. Histórico das Atividades de dragagens e Taxas de Assoreamento nos canais de navegação ao portos costeiros paranaenses. In: BOLDRINI, E.B; SOARES, C.R; PAULA, E.V. (Org). **Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental**. Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/SEMA/Governo do Estado do Paraná. 2007. p 232-243.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C.R. Variação das características granulométricas dos sedimentos de fundo do canal navegável aos Portos da Baía de Paranaguá. In: BOLDRINI, E.B; SOARES, C.R; PAULA, E.V. (Org). **Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental**. Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/SEMA/Governo do Estado do Paraná. 2007. p 244-252.

LANA, P. C.; MARONE, E; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (Ed.). **Coastal Marine Ecosystems of Latin America**. Berlin, Springer, 2001, p. 132-145.

LESSA, G.C.; MEYERS, S.R.; MARONE, E. 1998 Holocene Stratigraphy in the Paranaguá bay estuary, southern Brazil. *Journal of Sedimentary Research*. V.68 n 6. p. 1060-1076.

LESSA, G. C.; ANGULO, R. J.; GIANINNI, P. C. F.; ARAÚJO, A. D. Stratigraphy and holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. **Marine Geology**. Amsterdam, v. 165, n. 1/4, p. 87-108, 2000.

MANTOVANELLI, A. **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem**. Curitiba, 1999. 152 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>>. Acesso em 12 de julho de 2009.

MARONE, E.; GUIMARÃES, M.R.F.; CAMARGO, R.; PRATA JUNIO, V. P.; KLINGEFUSS, M. S. 1995. Caracterização física das condições oceanográficas, meteorológicas e costeiras das zonas estuarinas da Baía de Paranaguá. In: CONGRESSO LATINO – AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 6., Mar del Plata, Argentina. **Resumos**. p. 129.

MARONE, E.; JAMIYANAA, D. Tidal characteristics and a numerical model for the M2 tide at the Estuarine Complex of Paranaguá Bay, Paraná, Brazil. **Nerítica**, Curitiba, v.11, p. 95-107, 1997.

MARONE, E.; MANTOVANELLI, A.; NOERNBERG, M.A.; KLINGENFUSS, M.S.; LAUTERT, L.F.C.; PRATA JUNIOR, V.P.. **Caracterização física do complexo estuarino da Baía de Paranaguá**. Pontal do Sul: UFPR, 1997. Relatório consolidado do convênio APPA/CEM.

MEDEIROS, L. C. et al. **Avaliação de Modelos digitais de Elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas**. RBC - Revista Brasileira de Cartografia nº 61/2, agosto 2009.

MIGUENS, A. P. **Navegação: a ciência e a arte. - Navegação Costeira, estimada e em Águas Restritas**; Vol.1, DHN. Rio de Janeiro, Brasil, 538 páginas. 1996.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo, EDUSP. 2002.

NOERNBERG, M.A. **Processos Morfodinâmicos no complexo Estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil: Um estudo a Partir de Dados *in situ* e LANDSAT – TM**. Tese (doutorado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

NOERNBERG, M. A. & LANA, P. C. . **A sensibilidade de manguezais e marismas a impactos por óleo: fato ou mito? Uma ferramenta para a avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo..** Geografares (Vitória), Vitória, v. 3, p. 109-122, 2002.

ODRESKI, L.L.R. **Evolução Sedimentar e Batimétrica da Baía de Antonina – Pr.** 95 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PAULA, E. V. de; CUNICO, C. O assoreamento das baías de Antonina e de Paranaguá e a gestão de suas bacias hidrográficas. In: BOLDRINI, E. B.; SOARES, C.R.; PAULA, E.V. de. **Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental**. Antonina: Governo do Estado do Paraná, SEMA/PR, ADEMADAM, UNIBEM, p.154-168, 2007.

PERILLO, G.M.E. Geomorphology and sedimentology of Estuaries: na introduction. In PERILLO, G.M.E (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of Estuaries**. The Netherlands: Elsevier Science B.V. 1995. p 1-16.

PERILLO, G.M.E. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. In PERILLO, G.M.E. (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of Estuaries**. The Netherlands: Elsevier Science B.V. 1995. p 17-47.

PRANDLE, D. **Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology**. University of Wales. Cambridge. New York. 248p. 2009.

PRITCHARD, D.W. Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay Estuarine System. **Journal of Marine Research**, New Haven, v.11, n.1a, p. 106-123, 1952.

QUADROS, C.J.L. 2002. Morfodinâmica praial associada a passagens de sistemas frontais em duas praias arenosas do litoral paranaense. Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade Federal do Paraná.

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**. vol 22.nº 2, São Paulo. Maio/agosto 2004.

SOARES, C. R. **Natureza dos sedimentos de fundo das baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba – Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá (PR)**. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Geociências, Universidade Estadual Paulista. São Paulo. 187 f.1990

SOARES, C.R.; MARONE, E.; LAMOUR, M.R.; CARRILHO, J.C.; NOERNBERG, M.A. **Dragagem e aprofundamento do Canal da Galheta, via de acesso aos portos de Paranaguá e Antonina – PR**. Pontal do Sul: UFPR. 75 p. Relatório consolidado convênio APPA/CEM. 1997

SOARES, C.R.; LAMOUR, M.R. Atividades portuárias na Baía de Paranaguá (PR): Histórico e características de navegação, canais de acesso, berços de atracação, bacia de evolução e áreas de fundeio. In: BOLDRINI, E.B; SOARES, C.R; PAULA, E.V. (Org). **Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente**. Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/Secretaria de Ciência e tecnologia para Inclusão social. 2008. p.26-45.

SOARES, C.R.; NOERNBERG, M.A. A presença de lama fluida e navegabilidade no canal de acesso à região portuária de Antonina (PR). In: BOLDRINI, E. B.; SOARES, C.R.; PAULA, E.V. de. **Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental**. Antonina: Governo do Estado do Paraná, SEMA/PR, ADEMADAM, UNIBEM, p. 192-203, 2007.

SOARES, C. R. ; LESSA, G. C. ; GOTTARDI NETO, A. ; RIESEMBERG, C. E. ; SILVA, C. B. . Caracterização da distribuição dos sedimentos de fundo das baías de Paranaguá e Antonina. **Anais Congresso Brasileiro de Geologia**, 1996. v. 3. p. 390-394

SOUZA, L. G. *et al.* **Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Estudos Geoecológicos no Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro, Brasil**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Vol. 32 - 1 / 2009 p. 21-33.

VEIGA, F.A. **Processos Morfodinâmicos e Sedimentológicos na Plataforma Continental Rasa Paranaense**. 193 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

VEIGA, F. A. ; ANGULO, R. J.; MARONE, E. ; BRANDINI, F. ; CARRILHO, J. C. . Medidas de velocidade de corrente e vazão na plataforma continental interna paranaense utilizando perfilador de corrente acústico Doppler - ADCP.. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2003, Recife. **Anais...** v. unico. p. 146-146. 2003.

WALLACE JM & HOBBS PV. 1977. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. Academic Press, Inc, London, 467 pp.

WRIGHT, L. D. **Morphodynamics of inner continental shelves**. CRC Marine Science Series. Flórida - EUA. 241 p. 1995.

ZEM, R.C. **Hidrodinâmica e fluxo de Material Particulado em Suspensão na região estuarina da Baía de Paranaguá-PR**. 155 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.